This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

Sci
1089.
40.8

HARVARD COLLEGE LIBRARY

BOUGHT FROM THE INCOME OF THE FUND
BEQUEATHED BY
PETER PAUL FRANCIS DEGRAND
(1787-1855)
OF BOSTON

FOR FRENCH WORKS AND PERIODICALS ON THE EXACT SCIENCES
AND ON CHEMISTRY, ASTRONOMY AND OTHER SCIENCES
APPLIED TO THE ARTS AND TO NAVIGATION

SOCIÉTÉ FRANÇAISE

DE PHYSIQUE.

ANNÉE 1879.

PARIS. — IMPRIMERIE DE GAUTHIER-VILLARS,
Quai des Augustins, 55.

SÉANCES

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE.

ANNÉE 1879.

PARIS,

AU SIÉGE DE LA SOCIÉTÉ,

44, RUE DE RENNES, 44.

—

1879

Sci 1080.40.8

HARVARD COLLEGE
MAR 12 1921
LIBRARY

Degrand fund

William Grosseteste
Ingénieur

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE.

SÉANCE DU 3 JANVIER 1879.

PRÉSIDENCE DE MM. BLAVIER ET MASCART.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 20 décembre 1878 est lu et adopté.

M. Blavier signale les pertes regrettables que la Société a faites dans trois de ses membres : MM. Regnault, Becquerel et le R. P. Secchi. Il résume les travaux exécutés pendant l'année qui se termine et cède la présidence à M. Mascart, vice-président. On procède à l'élection du Bureau.

Le bureau de l'année 1879 se trouve ainsi composé :

M. Berthelot, *président;*
M. Mascart, *vice-président;*
M. d'Almeida, *secrétaire général;*
M. Bouty, *secrétaire;*
M. Lippmann, *vice-secrétaire;*
M. Niaudet, *archiviste-trésorier.*

Est élu membre de la Société, M. Guebhard, docteur en médecine.

M. le Secrétaire général fait remarquer que le procès-verbal de la dernière séance ne signale pas une Note adressée par M. le comte Léopold Hugo, ayant pour titre :

« Note sur des appareils exposés par le service de la Seine (ingénieurs, MM. de Lagrené et Cheysson) :

» 1° Un fluviographe enregistreur pour surveiller la tenue des biefs;

» 2° Un bateau-cloche d'un système nouveau permettant de

travailler sous une pression de 5 mètres d'eau, et dans des courants violents. »

M. Benoît montre à la Société un thermo-régulateur de son invention, fondé sur l'accroissement de la tension maximum d'une vapeur saturée avec la température.

M. d'Almeida présente, au nom de M. Alfred M. Mayer, et montre en projection, à l'aide de la lanterne verticale de M. Duboscq, les expériences que ce physicien a imaginées pour figurer l'hypothèse des attractions et répulsions moléculaires.

M. Lippmann expose des expériences qu'il a faites avec le concours de M. A. Bréguet, et desquelles il résulte qu'un écran magnétique de fer doux ne modifie en rien la force électromotrice produite par la rotation relative d'un aimant et d'un fil de cuivre entouré par l'écran.

Régulateur de température; par M. René Benoit.

M. Andreæ, d'Harlingen, a décrit [1] un thermo-régulateur, fondé sur la variation de la tension maximum d'une vapeur saturée avec la température. C'est un simple tube de Mariotte, de petites dimensions, rempli de mercure jusqu'à un certain niveau. Dans la courte branche fermée, on a fait passer quelques gouttes d'un liquide dont la température normale d'ébullition est un peu inférieure à celle que l'on veut obtenir. Dans la grande branche est disposé un interrupteur du gaz, analogue à celui qui existe dans les régulateurs déjà connus. Un tube intérieur concentrique amène le gaz d'éclairage, qui descend jusqu'à son orifice inférieur, remonte dans l'espace annulaire compris entre les deux tubes et s'échappe par un conduit latéral, qui le mène au brûleur. Les oscillations de la colonne mercurielle, refoulée par la tension de la vapeur, règlent l'afflux du gaz qui chauffe le bain dans lequel est placé l'appareil. Ce régulateur est très-simple et très-sensible; mais il ne peut fonctionner qu'entre des limites de température très-étroites, à moins de changer le liquide volatil introduit dans la petite branche. Pour

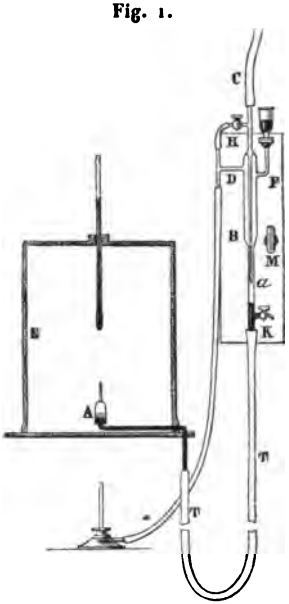
---

(1) *Annales de Wiedemann,* nouvelle série, t. IV, p. 614.

éviter cet inconvénient, j'ai adopté la disposition suivante, qui permet de faire varier à volonté, entre des limites très-étendues, la pression sous laquelle se produit la vaporisation de ce liquide.

A est un petit réservoir destiné à contenir le liquide volatil, et auquel on peut donner une forme quelconque suivant la disposition de l'étuve E, dans laquelle il doit être introduit; c'est ici une ampoule de verre, mince, soufflée à l'extrémité d'un tube et étirée

Fig. 1.



en pointe pour la facilité du remplissage. En B, est représenté l'interrupteur du gaz, qui, amené par le tuyau C, descend jusqu'à l'orifice *a*, et s'échappe par le tube latéral D, d'où il est conduit au brûleur. Celui-ci est mis, en outre, en communication directe avec la prise C par un deuxième canal H, muni d'un robinet, qui laisse passer constamment une petite quantité de gaz et maintient le bec en veilleuse quand, par l'effet du jeu de l'appareil, le passage se trouve fermé en *a*. Deux autres tubes F, K servent à ajouter ou à enlever du mercure suivant les besoins. Cette partie de l'appareil est fixée sur une planchette mobile le long d'une glissière, sur laquelle elle peut être fixée à une hauteur quelconque par une vis de pression M.

Le réservoir A et l'interrupteur B sont réunis par un tube en caoutchouc épais TT. Le tout a été rempli de mercure, et une petite quantité d'alcool méthylique a été introduite dans le réservoir. Ce liquide bout à 65°, et les tensions de sa vapeur sont, d'après Regnault :

10°	50 mm	60°	580 mm
20	89	70	857
30	150	80	1238
40	244	90	1742
50	382	100	2405

Ainsi, avec une course totale de 2^m, l'appareil peut être réglé pour une température quelconque jusque vers 100°. Il est évident d'ailleurs que, suivant les limites de température entre lesquelles on désire opérer, il peut y avoir avantage à choisir un autre liquide, plus ou moins volatil, ou même un mélange dont les tensions de vapeur sont intermédiaires entre celles des éléments qui le forment.

Pour obtenir dans l'étuve une température donnée, il faut régler l'appareil de manière que, le niveau intérieur du mercure se trouvant au bas du réservoir A et son niveau extérieur à l'orifice *a*, la distance entre ces deux niveaux, augmentée de la pression atmosphérique, soit égale à la tension maximum de la vapeur à cette température. Ce réglage se fait immédiatement au moyen d'une règle divisée, fixée à la glissière.

Par suite du faible volume du réservoir et de la rapidité avec laquelle s'établit la tension maximum de la vapeur, l'appareil est extrêmement sensible ; les tensions croissant d'ailleurs plus vite que les températures, la sensibilité va en augmentant à mesure que celles-ci s'élèvent.

Il est facile de se rendre compte de l'influence que peuvent exercer sur la marche du régulateur les variations de la pression du gaz d'éclairage et celles de la pression atmosphérique. Ces variations sont, en général, trop faibles pour avoir, surtout aux températures élevées, un effet bien sensible. Dans une petite étuve métallique, convenablement protégée contre le refroidissement extérieur et les causes de variations brusques, j'ai pu obtenir des températures

assez constantes, jusqu'à 95°, pour que, pendant cinq ou six heures consécutives, les oscillations n'aient pas atteint un dixième de degré.

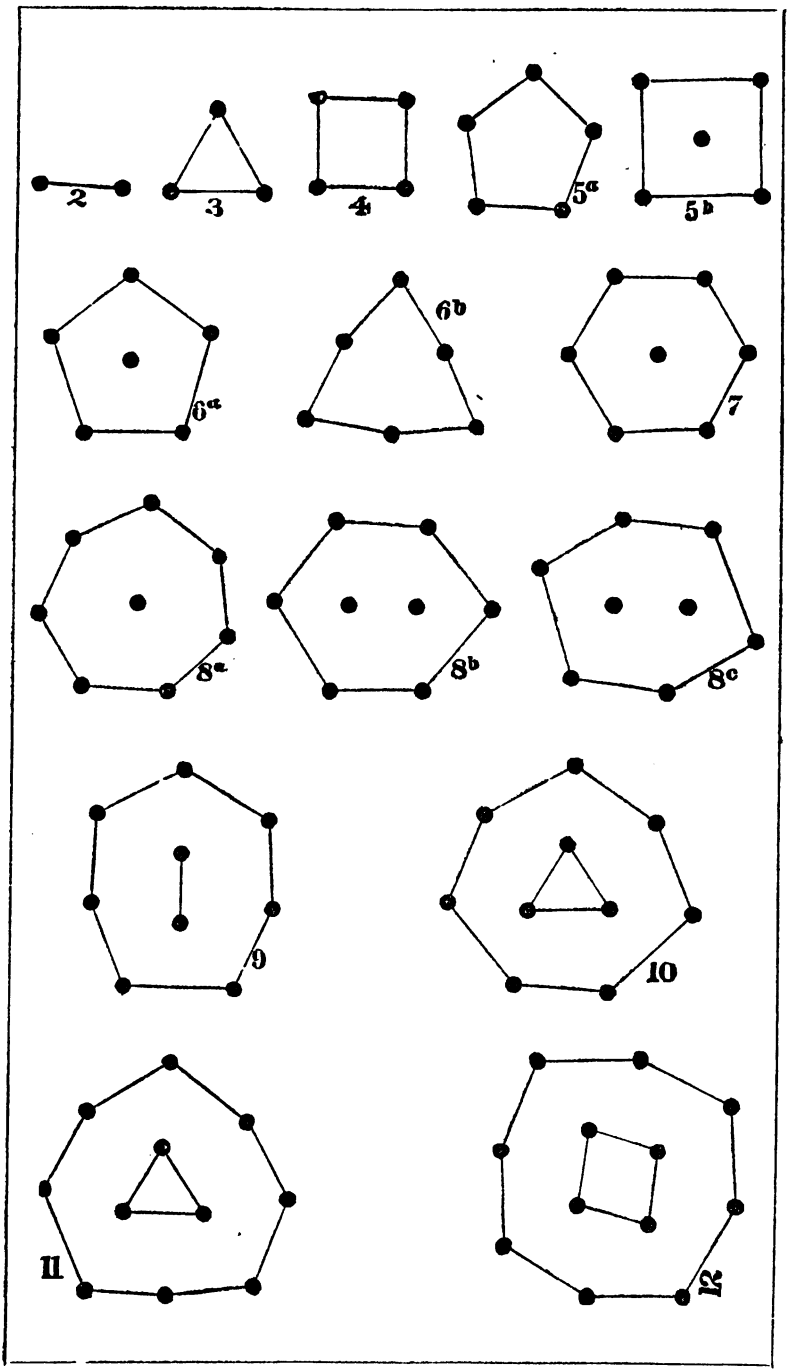
Expériences de M. A.-M. Mayer pour figurer les groupements et les actions moléculaires; par M. Ch. d'Almeida.

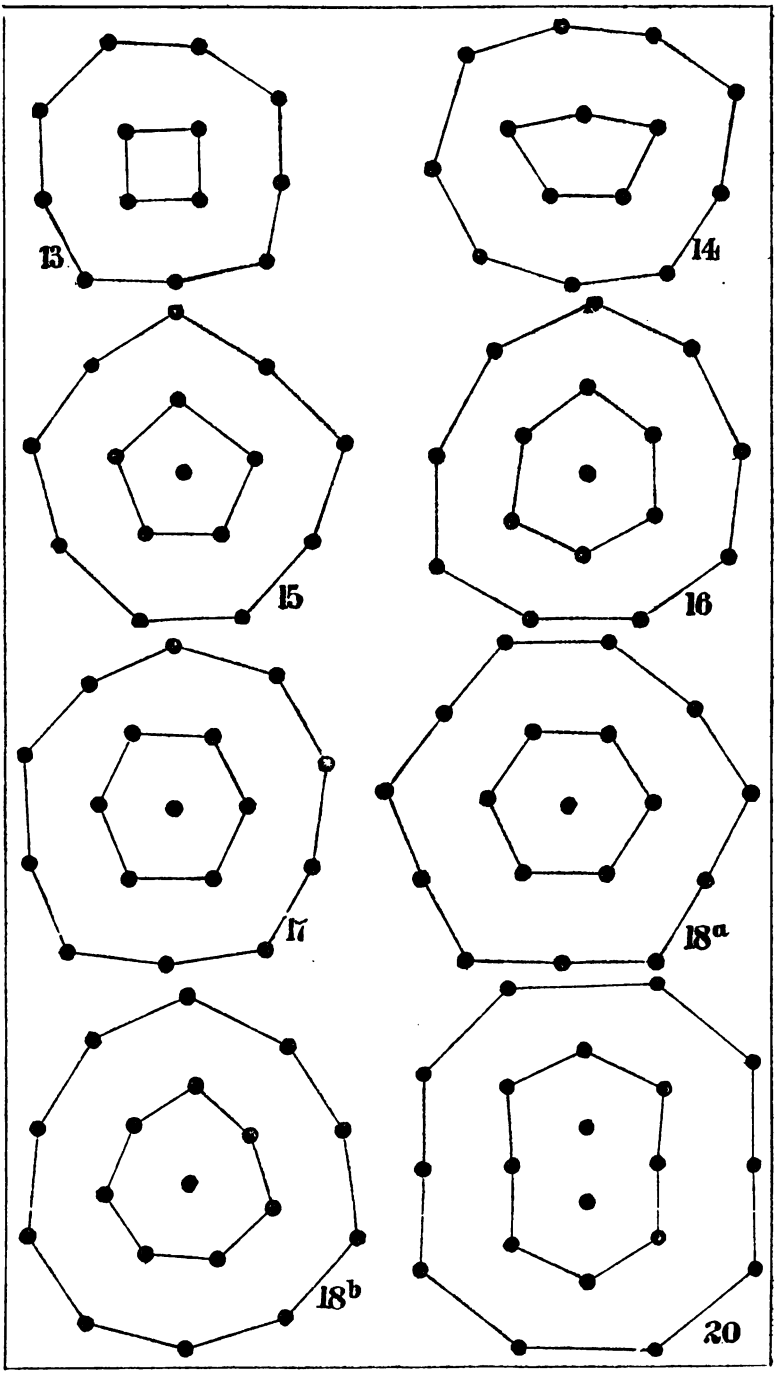
M. Mayer, préparant un Traité élémentaire de Physique expérimentale et désirant faire comprendre les groupements et les actions moléculaires, imagina un système d'expériences figuratives de ces groupements et de ces actions. Dans ce but, il eut recours aux actions magnétiques.

Des aiguilles à coudre sont aimantées; chacune traverse de part en part un petit bouchon de liége et s'y enfonce jusqu'à la tête. Ces aiguilles, abandonnées sur l'eau, flottent verticalement, la pointe en bas, et, comme le sens de leur aimantation est le même, elles se repoussent. Ce sont ces aiguilles qui représentent les molécules; leur magnétisme figure les forces répulsives. Pour obtenir des forces attractives, M. Mayer se sert d'un barreau aimanté tenu verticalement au-dessus de la surface de l'eau, dans une telle position que son pôle, de nom contraire à celui de la tête des aiguilles, soit dirigé vers le bas. Celles-ci sont attirées; elles s'approchent et alors se produisent des groupements qui dépendent du nombre des aiguilles, de leur position initiale et des impulsions imprimées. Vingt-trois de ces groupements sont représentés ici. La figure la plus complexe est formée de vingt aiguilles. L'auteur en a étudié de plus complexes encore : il a associé plus de cinquante aiguilles simultanément dans la même expérience.

Les figures se classent naturellement d'après l'ordre de leur complexité. Les unes (*fig.* 2, 3, 4, 5*a*, etc.) sont simples; les autres (*fig.* 8*b*, 8*c*, 9, 10, etc.) sont composées d'une des figures précédentes, que l'on peut appeler *le noyau*, enveloppée d'une autre; nous les appellerons *figures de deuxième ordre;* d'autres, la *fig.* 20 par exemple, sont des figures du troisième ordre; enfin on a obtenu aussi des figures du quatrième et même du cinquième ordre.

Ces figures montrent qu'un même nombre d'aiguilles peut


2
3
4
5a
5b
6a
6b
7
8a
8b
8c
9
10
11
12


13
14
15
16
17
18a
18b
20

prendre divers groupements; exemples : 6*a*, 6*b* et 18*a*, et 18*b*. Ces groupements ne sont pas tous également stables : les lettres *a*, *b*, *c* indiquent l'ordre de stabilité. Un choc léger suffit souvent pour faire disparaître le groupement instable et pour produire le groupement stable qui correspond au nombre d'aiguilles en expérience.

A l'aide de ces expériences, l'auteur explique divers points de la théorie des atomes; mais il est bien entendu que ces explications ne sont que de simples comparaisons, destinées à faire comprendre les phénomènes tels qu'on les conçoit dans la théorie moléculaire. Voici les points signalés par l'auteur.

Les molécules des corps sont souvent dans un état d'équilibre instable : dans le cas de surfusion par exemple, l'eau, à — 10° C., le soufre, à + 100°, deviennent solides par le choc ou par l'introduction d'un cristal. Ce sont des phénomènes semblables aux variations des groupements, tels que 6*b* en 6*a*, changement qu'un choc produit également.

Pendant la solidification, une variation de volume se produit; de même, un groupement, qui se transforme en un autre, occupe un espace plus grand ou plus petit.

On conçoit aisément comment la représentation de l'allotropie et de l'isomérie est donnée par les mêmes figures.

L'auteur termine en indiquant la manière de projeter les expériences. Nous ne nous arrêterons pas sur ce point. La lanterne verticale de M. Duboscq (1) permet de réaliser toutes les projections de ce genre. Nous l'avons employée, pour montrer ces expériences, dans une des séances de la Société de Physique.

Du rôle des écrans magnétiques en mouvement dans les phénomènes d'induction; par M. G. Lippmann.

I. On sait que le fer et même l'acier jouissent de la propriété de former écran magnétique. Ainsi, une aiguille aimantée

(1) Voir *Bulletin de la Société*, année 1876, p. 6.

que l'on entoure d'une enceinte de fer doux se trouve protégée contre l'action directrice soit de la Terre, soit d'aimants extérieurs que l'on approcherait de l'enceinte. Pourtant ces actions magnétiques extérieures ne sont ni interceptées ni déviées par le fer doux; elles sont seulement équilibrées par l'action qui émane du fer doux, lequel s'aimante par influence, de façon à compenser les actions extérieures par sa propre action, qu'elle leur superpose.

Les effets statiques du magnétisme (direction d'une aiguille, aimantation) sont propres seulement à montrer la différence des deux systèmes de forces qui agissent simultanément en sens contraires. Pour mettre en évidence l'existence indépendante des deux systèmes de forces magnétiques, il suffit de faire produire à l'un d'eux un phénomène d'induction, à l'aide d'un mouvement relatif auquel l'autre système de forces magnétiques ne participe pas.

Grâce au concours obligeant de M. A. Breguet, l'expérience a pu être faite avec un appareil très-puissant.

Une machine Gramme à lumière fut transformée de la manière suivante. Le fil de la bobine tournante, qui dans la machine Gramme est fermé sur lui-même, fut coupé, et les deux bouts, ramenés sur l'axe de rotation, d'un même côté de la bobine tournante, furent mis, à l'aide de contacts frottants, en communication continue avec les bornes d'un galvanomètre multiplicateur non astatique. D'autre part, la distribution du magnétisme fut établie comme il suit : un courant constant auxiliaire, assez intense pour produire au besoin une belle lumière électrique, fut envoyé dans l'électro-aimant de l'appareil, de façon à faire naître tout le long de l'armature circulaire qui enveloppe extérieurement la bobine tournante un pôle magnétique de même nom A, tandis que le pôle contraire B se trouvait rejeté par influence au milieu de l'axe de rotation, au centre même de la bobine tournante. Cette bobine reçut d'une machine à vapeur une vitesse de rotation de plus de 1000 tours par minute; le galvanomètre fut observé en même temps. Le galvanomètre n'accusa que des déviations nulles ou insignifiantes. Ce résultat très-simple conduit à une conclusion rigoureuse : c'est que les actions magnétiques se transmettent à travers le fer doux et qu'elles se transmettent *intégralement*, c'est-à-dire sans être en rien modifiées par l'interposition du fer doux.

En effet, considérons les actions inductrices qui s'exercent sur

le circuit mobile. Le pôle B et le pôle auxiliaire produits par influence dans l'anneau de fer de la bobine ne tendent pas à produire de courant dans le fil, puisqu'ils sont immobiles par rapport au fil. L'action inductrice provient donc tout entière du pôle fixe A. Cette action inductrice s'exerce sur toute l'étendue du circuit mobile, c'est-à-dire, d'une part, sur tous les brins de ce fil qui sont extérieurs à l'anneau de fer doux et qui sont soumis à l'action indirecte de A sans interposition de fer doux, d'autre part sur tous les brins de fils intérieurs à l'anneau et protégés par lui. Les actions sur les brins extérieurs sont toutes de même sens; les forces électromotrices correspondantes ont une somme positive qui tend à produire un courant dans le circuit; les actions sur les brins intérieurs ont une somme précisément égale et de sens contraire à la première, puisque l'expérience montre qu'il n'y a pas de courant. D'autre part, si l'on supprimait l'anneau de fer, il en serait exactement de même. On sait que l'action d'un aimant qui a l'axe de rotation pour axe magnétique est nulle sur un circuit qui a ses extrémités sur cet axe d'un même côté du pôle. Ainsi, quand le fer doux existe, la force électromotrice d'induction qui s'exerce sur les brins de fil intérieurs est encore précisément égale et de sens contraire à celle qui a lieu sur le reste du circuit; elle n'est donc pas modifiée par l'interposition du fer doux.

II. Cette perméabilité complète du fer doux pour les effets magnétiques conduit aux conséquences suivantes : 1° une machine magnéto-électrique à courant continu, formée d'aimants, de fer doux et d'un fil de cuivre, ne peut pas fonctionner sans contacts frottants; 2° la force électromotrice d'une machine à contacts frottants dépend uniquement de la position de ces contacts, et non de la longueur ni de la forme du fil qui les joint.

En effet, puisque les effets d'induction produits par un aimant ne sont pas modifiés par l'interposition d'autres masses magnétiques, l'induction produite par un système formé d'aimants et de fer doux est égale à la somme des actions dues aux divers points des systèmes considérés séparément. Il résulte de là que, si la portion de fil qui est mobile par rapport aux masses magnétiques constitue une courbe fermée, il ne peut s'y produire de courant continu. Pour le démontrer sans avoir recours à une formule ana-

lytique, représentons, comme l'a fait Faraday, l'intensité de chaque point magnétique par le nombre de lignes de force qui en émanent. Ces lignes sont des lignes *fermées;* elles traversent le fer aussi bien que l'air, pour venir se refermer sur le point qui leur donne naissance et dont elles restent solidaires : c'est le fait qui a été démontré plus haut par l'expérience. Considérons l'une de ces lignes de force en particulier. Si elle vient couper le circuit mobile, elle y produira un courant d'induction qui circule dans un sens déterminé. Si le circuit mobile constitue, lui aussi, une ligne fermée, ou bien les deux lignes formées resteront engagées l'une dans l'autre, ou bien, si elles se dégagent, c'est en se coupant de nouveau. Dans ce cas, il se produit un courant inverse du premier et qui l'annule si l'on prend la somme algébrique des quantités d'électricité qui circulent dans un sens déterminé. Cette somme algébrique est donc proportionnelle à la variation du nombre des lignes de force qui sont contenues dans l'intérieur du circuit. Elle est donc finie, car le nombre des lignes de force représente l'intensité du champ magnétique, laquelle est finie.

On ne peut donc obtenir de courant continu en quantité indéfinie que si la portion induite du circuit constitue une ligne non fermée; on est donc forcé de la relier au reste du circuit par deux contacts frottants.

La force électromotrice induite dans une machine à courant continu ne dépend que de la position des frotteurs. Soit E cette force électromotrice. Relions les extrémités du fil induit par un fil complémentaire qui en soit solidaire et qui en fasse un circuit fermé. En appelant E′ la force électromotrice induite dans le fil complémentaire, on a $E + E' = 0$, puisque le circuit est fermé. On a donc constamment $E = -E'$, quelle que soit la forme du fil induit. Pour la même raison, E′ ne dépend pas de la forme du fil complémentaire. On ne peut donc multiplier la force électromotrice d'une machine à courant constant, telle que celles qui ont été construites par Faraday et M. Le Roux, qu'en multipliant le nombre des fils induits et des couples de frotteurs. Pour obtenir de grandes tensions en augmentant la longueur du fil induit, il faut avoir recours à des machines à courant alternatif, avec ou sans commutateur redresseur. Les machines de Clarke, de Siemens, et notamment la machine de Gramme, sont des machines

à courant alternatif et à commutateur redresseur. La force électromotrice d'induction change de signe dans le fil induit à chaque demi-révolution ; par le jeu du commutateur, le courant recueilli à l'extérieur est de direction constante.

Moyen d'obtenir des étincelles électriques colorées avec la machine de M. Teploff; par M. Mascart.

(Séance du 2 août 1878.)

L'Exposition universelle de 1878 renfermait, dans la section russe, une machine électrophorique très-curieuse de M. Teploff, et quelques visiteurs ont pu être assez heureux pour voir et entendre les belles étincelles que l'on tirait de cet appareil. M. Teploff a légué sa machine au cabinet de Physique du Collége de France. Nous dirons quelques mots sur l'emploi que fait M. Teploff de conducteurs médiocres pour obtenir des étincelles de différentes couleurs.

Dans les machines à petit développement de conducteurs, comme celle de Holtz, on a l'habitude d'ajouter aux électrodes des condensateurs de dimensions variables qui augmentent leurs capacités, rendent les étincelles plus rares et plus puissantes, et contribuent à maintenir les peignes amorcés.

Le plus souvent, on se sert seulement de deux bouteilles réunies en cascade, et il y a dans cette disposition un certain nombre de communications que l'on peut énumérer ainsi :

1° Conducteurs pour relier les armatures internes des bouteilles avec les électrodes ;

2° Armatures internes des bouteilles ;

3° Armatures externes ;

4° Communication des armatures externes.

Les conducteurs 1 et 4 peuvent être remplacés par des corps présentant une grande résistance au passage de l'électricité, tels que des bandes de papier peint, surtout de papier peint au noir de fumée, de longueur et de largeur variables, des cordes plus ou

moins mouillées, des tubes remplis de liquide, des mêches de coton humide placées dans des tubes de verre, etc. Pour la dernière communication, en particulier, une disposition très-simple consiste à employer deux plaques de plomb, reliées aux armatures par des fils de cuivre recouverts de gutta-percha, et à poser ces plaques, à une certaine distance l'une de l'autre, sur une bande de papier. Pour remplacer l'armature interne des bouteilles, on peut employer un liquide ou simplement mouiller les parois du vase. Enfin, il suffit de placer la bouteille dans un vase cylindrique renfermant de l'eau pour que l'armature externe soit elle-même liquide.

Si la cascade est formée par quatre bouteilles réunies deux à deux, on peut joindre, par une bande de papier ou un conducteur médiocre quelconque, les armatures extérieures de chaque paire de bouteilles et former la réunion des armatures extérieures de chaque groupe avec l'autre, du groupe positif avec le groupe négatif, par un conducteur médiocre.

On dispose ainsi d'une foule de moyens pour distribuer les résistances en différents points du circuit total, et les apparences que l'on obtient sont extrêmement variées.

D'abord les étincelles, tout en conservant la même longueur au moins qu'avec les communications conductrices, deviennent moins puissantes, plus molles, pour ainsi dire; le bruit est moins déchirant, mais plus bref, et il semble, dans certain cas, que la décharge s'arrête avant d'être achevée.

Ce qui paraît remarquable surtout, c'est la couleur des étincelles. Des expériences de ce genre ne comportent pas une description exacte, puisque la disposition des appareils dépend des dimensions et de la nature des substances employées, ainsi que de l'état hygrométrique de l'air; mais les étincelles présentent très-nettement, suivant les cas, des teintes appartenant à toutes les couleurs du spectre solaire. On obtient aussi des étincelles dont la couleur est rouge, orangée, jaune foncé, paille verdâtre. Les étincelles de couleur rouge, indigo et violette paraissent s'émietter en filets plus minces; celles d'un vert vif sont très-difficiles à produire.

Un moyen très-commode d'apprécier la conductibilité des bandes de papier est de les tenir à la main par un bout, de mettre l'autre bout en contact avec l'une des bouteilles d'une machine en acti-

vité, et de diminuer peu à peu la longueur de la bande jusqu'à ce que l'on ressente une commotion à chaque décharge de la machine.

Les physiciens qui auront la curiosité de répéter les expériences de M. Teploff seront bien dédommagés de leur peine par la beauté des phénomènes et une variété presque illimitée dans la forme, la couleur et le bruit des décharges qui ont lieu, soit dans l'air, soit même le long des substances à conductibilité médiocre qui servent pour établir les communications. Ces apparences correspondent à une diminution manifeste dans l'énergie de la décharge; mais les particularités des étincelles sont évidemment trop complexes pour qu'il soit possible d'en aborder l'explication dans l'état actuel de la Science.

SÉANCE DU 17 JANVIER 1879.

PRÉSIDENCE DE M. BERTHELOT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 3 janvier est lu et adopté.

M. Raffart, dans une lettre au Président de la Société de Physique annonce qu'il a breveté dès 1875 un appareil analogue au thermo-régulateur décrit par M. Benoît dans la précédente séance, et applicable aux appareils de l'industrie.

M. Benoît fait observer que l'invention brevetée par M. Raffart n'avait pas d'ailleurs été publiée; le thermo-régulateur présenté dans la précédente séance est un appareil de laboratoire, fondé sur un principe depuis longtemps connu.

Est élu membre de la Société, M. Ch. Cros.

M. Marcel Deprez décrit un indicateur électrique des pressions qu'il a fait construire pour la Compagnie du Nord.

A propos d'une Communication faite dans la précédente séance par M. Lippmann, M. Marcel Deprez propose une démonstration nouvelle de ce théorème, que l'on ne peut pas construire une ma-

chine magnéto-électrique donnant un courant continu et réversible à moins d'y introduire des contacts glissants.

En effet, si la machine supposée réversible fonctionne comme moteur, le courant fermé qu'elle contient constitue un solénoïde assimilable à un aimant; elle ne fournira donc pas de travail, car autrement on pourrait, en substituant un aimant permanent au courant, produire le mouvement perpétuel par une combinaison d'aimants permanents.

M. Lippmann présente quelques observations sur ce théorème de M. Marcel Deprez; il ajoute que la démonstration diffère entièrement de celle qui aurait été proposée dans la précédente séance.

M. Mascart décrit des expériences qu'il a faites pour vérifier que le poids de la vapeur d'eau saturée suffit pour déterminer une distillation *per descensum* dans un appareil clos maintenu à une température uniforme et constante et ne contenant que cette vapeur et des masses d'eau dont les surfaces libres planes sont à des hauteurs différentes. M. Mascart rappelle d'abord que sir W. Thomson, en s'appuyant sur l'idée de la distillation *per descensum* et sur le principe de Carnot, a démontré que la tension maximum d'une vapeur saturée est fonction de la courbure de la surface. M. Mascart montre à la Société de petits appareils en verre hermétiquement scellés et dans lesquels la distillation *per descensum* a eu lieu, avec le temps, d'une manière très-marquée, d'une surface d'eau plane à une autre surface placée plus bas. M. Mascart signale l'influence que les variations de la température ont pu avoir pour accélérer le phénomène.

M. Berthelot rappelle, à propos du théorème de sir W. Thomson, une observation ancienne de Regnault : c'est que l'on ne peut pas saturer de vapeur d'eau l'air d'un vase en mouillant simplement les parois du vase; il est nécessaire que le vase contienne une petite quantité d'eau en excès.

M. Thollon présente un spectroscope à vision directe et à grande dispersion construit par M. Laurent d'après le système qui a été décrit dans la séance du 5 janvier 1878.

M. Angot cite les expériences récemment faites par MM. Langley et Young en Amérique pour montrer le déplacement des raies dû au mouvement du Soleil.

Sont élus membres du Conseil :

Membres résidants :

MM. Bergon,
Bischoffsheim,
Dumoulin-Froment,
Jamin.

Membres non-résidants :

MM. Lecoq de Boisbaudran (Cognac),
Rossetti (Padoue),
Ternant (Marseille),
Violle (Grenoble).

Sur la proposition du Bureau, M. Alluard (Clermont-Ferrand) est élu membre du Conseil pour l'année 1879, en remplacement du R. P. Secchi (Rome).

Sont nommés membres de la Commission des comptes :

MM. Bourdon,
Deleuil,
Maurat.

Indicateur électrique des pressions ; par M. Marcel Deprez.

I.

Les diagrammes fournis par les indicateurs de pression donnent, sur la marche d'une machine à vapeur, des renseignements dont l'importance est connue de tout le monde.

Ces appareils sont cependant sujets à des causes d'erreurs provenant surtout de l'inertie des pièces mobiles qui enregistrent les courbes.

On a pu, malgré ces imperfections, obtenir des résultats précieux, au point de vue économique, avec des machines à marche lente; mais ces résultats perdent toute exactitude lorsque les indicateurs sont appliqués aux machines à grande vitesse, aux locomotives par exemple.

Cette lacune était fâcheuse, car, au point de vue scientifique, ces résultats auraient permis, si leur degré de précision n'avait offert aucun doute, d'élucider certains points obscurs de l'application de la Thermodynamique à la théorie des machines à vapeur.

C'est dans ce but que j'ai étudié ces appareils et ai cherché l'élimination des causes d'erreur que je viens de signaler.

II.

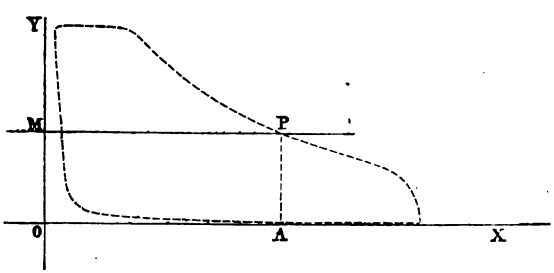
Pour remédier aux inconvénients des indicateurs jusqu'alors en usage, j'ai dû employer les moyens de recherche dont j'avais déjà fait usage dans mes études sur l'artillerie.

L'appareil que je vais décrire est, au surplus, une simplification de ceux que j'ai imaginés pour le wagon-dynamomètre de la Compagnie des chemins de fer de l'Est, exposé l'année dernière au Champ de Mars.

Le principe sur lequel il repose consiste à chercher *quelles sont les positions occupées par le piston de la machine quand la pression variable de la vapeur passe par une valeur arbitraire, mais connue.*

A cet effet, j'imprime au papier sur lequel doit être enregistrée la courbe un mouvement rigoureusement semblable à celui du

Fig. 1.



piston de la machine, les chemins parcourus par ce piston constituant les abscisses de la courbe, dont les ordonnées doivent représenter les pressions correspondantes de la vapeur.

Supposons alors que la pointe du style d'un de mes enregistreurs électriques se trouvant écartée de la ligne de pression nulle OX (*fig.* 1) proportionnellement à la pression arbitraire, mais

connue, représentée par OM, dont je viens de parler, supposons, dis-je, que cette pointe de l'enregistreur vienne frapper le papier du diagramme toutes les fois que la pression de la vapeur dans le cylindre passera par cette valeur OM; il est évident que le point P ainsi déterminé appartiendra à la courbe cherchée, car il aura pour abscisse le chemin OA parcouru par le piston et pour ordonnée AP, qui représente la pression de la vapeur égale *à la pression arbitraire, mais connue,* OM.

Cette méthode admise, il me reste à expliquer :

1° Comment j'ai pu obtenir et connaître cette pression arbitraire;

2° Au moyen de quel dispositif le style de l'enregistreur électrique est amené à une hauteur proportionnelle à cette pression connue;

3° Enfin, comment est enregistré le moment où la pression de la vapeur du cylindre de la machine passe par cette valeur arbitraire.

III.

La mesure de la pression arbitraire est donnée à l'aide d'une soupape autorégulatrice qui se compose d'un cylindre de bronze K (*fig.* 2), dans lequel se meut un piston N dont la tige est reliée, par son extrémité supérieure, à un ressort à pincettes H, et qui se termine à son autre bout par une soupape G fermant ou ouvrant, selon le cas, un tuyau d'échappement.

Admettons un instant que le ressort soit bandé d'une quantité déterminée, et voyons ce qui va se passer quand la vapeur de la machine arrivera en pleine pression dans le cylindre K, par l'ouverture *a'*.

La tension de la vapeur qui afflue sous le piston N peut-elle dépasser celle du ressort? Non, car, si elle la dépassait, le piston N repoussé soulèverait la soupape G et la vapeur s'échapperait.

Elle ne saurait non plus être plus petite que celle du ressort, car alors la soupape serait complétement fermée, et la vapeur, ne trouvant pas d'issue, atteindrait dans un temps très-court la pression qu'elle possède dans la chaudière.

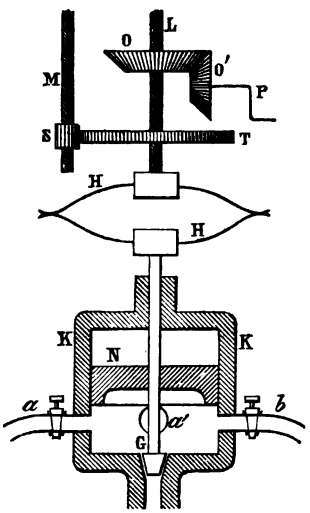
N'étant ni plus grande ni plus petite que celle du ressort, elle ne peut donc que lui être égale.

On conçoit maintenant que, si l'on peut déterminer à chaque moment les tensions successives données au ressort, on connaîtra, par conséquent, les valeurs correspondantes de la pression de la vapeur dans le cylindre K.

Le système ingénieux de cette soupape autorégulatrice est dû à M. Napoli.

D'autres dispositions auraient, par des procédés différents,

Fig. 2.



permis d'atteindre le même but, soit par exemple, pour ne citer qu'un système, en reliant par une bielle le robinet du tuyau d'admission de la vapeur de la chaudière sous le piston de l'indicateur au robinet du tuyau ouvrant la fuite.

La connexion de ces deux robinets, qui seraient calés à angle droit l'un par rapport à l'autre, permettrait d'obtenir le même effet que celui que je viens d'indiquer.

IV.

La pression arbitraire étant connue au moyen de la soupape autorégulatrice, j'ai à dire comment les styles des enregistreurs se trouvent automatiquement à une hauteur proportionnelle à cette pression.

A l'écrou qui rassemble la lame supérieure du ressort H (*fig.* 2) est fixée une vis L actionnée de bas en haut ou de haut en bas, selon qu'on veut tendre ou détendre le ressort, par les roues d'angle OO′ et la manivelle P.

La vis L est en outre munie d'une roue horizontale T, laquelle, au moyen du pignon S, fait descendre ou monter la vis V, qui porte à sa partie supérieure deux de mes enregistreurs électriques, l'un à droite, l'autre à gauche.

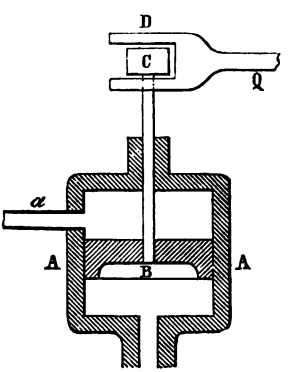
La course de ces enregistreurs est amplifiée dans le rapport des engrenages T et S qui les font mouvoir.

V.

Nous connaissons comment sont obtenues les ordonnées de la courbe du diagramme. Il me reste maintenant à décrire le dispositif à l'aide duquel est saisi le moment où la pression de la vapeur du cylindre passe par la valeur de la pression arbitraire.

Par les tubulures *a* et *b* (*fig.* 2), la vapeur, mesurée dans le cylindre K, communique avec des appareils explorateurs qui se

Fig. 3.



trouvent placés sur les faces arrière et avant des cylindres de la machine.

Chaque appareil explorateur se compose d'un petit cylindre A (*fig.* 3), dans lequel se meut un très-léger piston d'aluminium B recevant sur sa face interne la pression de la vapeur motrice et sur sa face externe la pression arbitraire venant du cylindre K.

La tige de ce piston d'aluminium se termine par un interrupteur consistant en un taquet C intercalé avec un faible jeu ($0^{mm},5$ de chaque côté) entre les deux butoirs D et E de la fourche Q, qui se relie de même façon avec le second explorateur placé sur l'autre face du cylindre de la machine.

Les taquets C et C′ des deux interrupteurs se trouvent en communication avec la pile et les enregistreurs électriques. Quand ils appuient tous deux sur les butoirs, le courant passe et aucun signal n'est produit. Quand, au contraire, un des taquets quitte un contact pour s'appliquer sur l'autre, moment très-court qui correspond à l'équilibre de la pression arbitraire et de celle de la vapeur dans le cylindre de la machine, le courant électrique est interrompu et la pointe de l'enregistreur trace un des points de la courbe du diagramme.

Si donc on fait varier au moyen du ressort H la tension de la vapeur arbitraire, de zéro à 10^{atm} par exemple, les enregistreurs fourniront une courbe des pressions de la vapeur dans le cylindre de la machine, courbe composée d'autant de points qu'il aura fallu de coups de piston ou, autrement dit, que l'on aura pris de valeurs diverses de la pression arbitraire.

VI.

J'ai dit plus haut que la vis N (*fig.* 2) portait deux enregistreurs électriques. Ces instruments présentent la pointe de leurs styles à deux tambours antimoniés, sur lesquels on place le papier noirci destiné à recevoir le tracé du diagramme.

Chaque tambour Z (*fig.* 4) reçoit son mouvement circulaire alternatif du piston de la machine avec lequel il est relié.

L'axe fixe J (dont la tête est maintenue par le verrou R, afin d'empêcher les vibrations pendant la marche) porte à sa base un disque U sur lequel est fixé un des tambours Z qui reçoivent le papier.

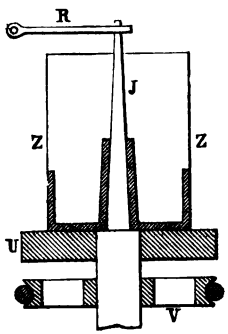
Dans la gorge de la poulie V est enroulée la corde qui communique avec la crosse du piston de la machine.

Le disque U et la poulie V sont tous deux munis d'un barillet destiné à ramener sans choc ces pièces, après chaque course du piston.

L'entraînement du disque U se fait de la manière suivante.

A la poulie V est fixée une potence portant à son extrémité, en forme de retour de sonnette, un petit galet *m*, lequel roule sur la

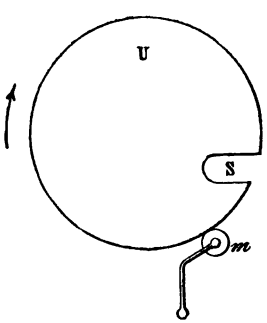
Fig. 4.



surface extérieure du disque U. Un ressort donne de l'adhérence à ce galet. D'autre part, le disque U porte sur un des points de sa circonférence (*fig.* 5) une entaille *s*.

Si, faisant tourner un peu le tambour avec la main, on présente cette entaille à la fin de course du galet *m*, on conçoit que ce der-

Fig. 5.



nier, tombant au fond de l'encoche, va entraîner le disque U et lui communiquer son mouvement circulaire alternatif. Si, au contraire, on veut immobiliser le disque U et par conséquent le tambour, il suffit de présenter le pouce à la potence et forcer ainsi le galet à sortir immédiatement de l'entaille.

Il y a lieu de remarquer que ces deux opérations s'accomplissent

lorsque le galet est à la fin de sa course, c'est-à-dire lorsque sa vitesse est nulle ou très-faible.

Il n'y a donc pas de choc et, par suite, pas de chances de rupture de la ficelle qui transmet le mouvement.

Cette disposition permet en outre de relever une série de courbes, sans pour cela avoir besoin d'interrompre le fonctionnement de l'indicateur.

Le premier appareil de ce genre a été construit avec beaucoup de soin dans les ateliers de l'ingénieur J. Carpentier. Il était destiné à la Compagnie des chemins de fer du Nord.

Spectroscopes à vision directe et à grande dispersion; par M. Thollon.

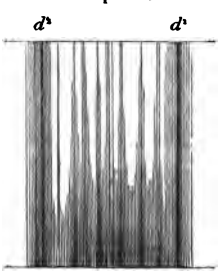
J'ai exposé dans la séance du 5 avril 1878 la théorie et la description d'un nouveau spectroscope à vision directe. L'instrument qui fut alors présenté à l'Académie et à la Société de Physique n'était qu'un modèle très-imparfait sous tous les rapports; c'était une première ébauche destinée à vérifier une théorie nouvelle. Les résultats obtenus ont été des plus satisfaisants. Les savants qui ont bien voulu l'expérimenter ont été frappés de l'étendue et de la netteté du spectre obtenu, et en particulier de la constance de mise au point de la lunette; ils m'ont tous encouragé à persévérer dans mon travail.

Désirant à la fois obtenir une grande dispersion et une grande précision de mesure, j'ai cherché, d'après les conseils de MM. Brünner, à réduire à deux le nombre des pièces mobiles, qui était de quatre dans le premier modèle. Pour ne rien perdre en dispersion, j'ai imaginé d'avoir recours à des prismes composés qui ne sont qu'une modification du prisme d'Amici. Si l'on suit dans ce dernier la marche du rayon lumineux, il est aisé de se convaincre que les faces d'entrée et de sortie agissent en sens inverse du prisme intérieur. La déviation est détruite, en même temps qu'une grande partie de la dispersion est perdue. En diminuant les angles des crowns, le prisme cesse d'être à vision directe, ce qui n'a aucun inconvénient dans le cas actuel, et la dispersion croît d'une manière

considérable. Ayant, d'après ces données, soigneusement calculé les angles du flint et des crowns pour avoir la dispersion que je désirais obtenir sans incidences ni émergences exagérées, je priai M. Laurent de me construire deux prismes composés dans lesquels l'angle du flint était de 90° et ceux des crowns de 18°. Ces prismes, essayés dans le photomètre de M. Gouy, me donnèrent exactement les résultats que j'avais calculés. Grâce à la perfection des surfaces, les raies spectrales étaient d'une netteté qui ne laissait rien à désirer. La dispersion de chacun de ces prismes était exactement équivalente à celle d'un prisme à sulfure de carbone de 60°. Il convient d'ajouter que, au moment où M. Laurent venait d'achever ces prismes composés, j'en ai vu plusieurs exactement pareils dans la vitrine de M. Grubb à l'Exposition. Ces derniers paraissent avoir été calculés seulement au point de vue du redressement des raies; quoi qu'il en soit, la priorité ne m'appartient pas.

Fig. 1.

Groupe D.



En substituant ces nouveaux prismes à ceux qui étaient dans mon premier modèle, M. Laurent a fait un instrument qui répond de tout point à ce que je désirais obtenir. La longueur apparente du spectre est d'environ $1^m,80$; la distance angulaire des raies D est de $1'30''$: c'est à peu près la moitié de la dispersion obtenue par M. Gassiot dans son spectroscope à onze prismes à sulfure de carbone. Une vis tangente à tête divisée fait mouvoir les prismes et tourner un tambour divisé. Chaque division du tambour correspond à un tour de la vis ; les fractions de tour se lisent sur la tête de la vis elle-même. En amenant une raie sur le réticule qui se trouve dans l'oculaire, et notant le nombre de tours qu'a faits la vis et les fractions de tour, la position de cette raie est

déterminée avec la même précision qu'Angström a mise à mesurer les longueurs d'onde des principales raies de Fraunhofer. La simplicité et la symétrie de forme de cet instrument le rendent particulièrement propre à être adapté à une lunette pour l'étude du Soleil. Il convient également bien pour observer l'étincelle électrique et l'arc voltaïque, mais sa dispersion est trop grande pour les opérations ordinaires de la Chimie.

L'étude que j'ai faite des prismes composés m'a conduit à l'idée d'y remplacer le flint par le sulfure de carbone. Ayant calculé la dispersion qu'il serait possible d'obtenir par cette substitution, j'arrivai à un résultat tellement surprenant, que je crus d'abord à une erreur de calcul. Après m'être assuré que je ne m'étais point trompé, je fis construire par M. Laurent un prisme d'essai. La dispersion qu'il donna fut exactement celle que j'avais calculée. La distance angulaire des raies D était de 2′. Il faut ajouter à cela que, l'absorption étant à peu près nulle, le spectre avait un éclat remarquable dans toute son étendue.

Encouragé par ce premier essai, je me décidai à construire un instrument dont le pouvoir dispersif dépasserait celui qui a été obtenu jusqu'à ce jour. En conséquence, M. Laurent me fit deux prismes et deux demi-prismes avec retour; il les monta provisoirement sur une planchette à dessin, d'après le mode décrit (voir *Bulletin* année 1878, p. 59) mais qu'il modifia; il ne laissa qu'un levier et ajouta un engrenage. De forts ressorts antagonistes, convenablement placés, évitaient tout jeu. Le système, traversé deux fois par le rayon lumineux, est équivalent à six prismes composés; il est mis en mouvement par une vis de rappel, et tout rayon qui passe du collimateur dans la lunette a traversé tous les prismes au minimum de déviation. La distance angulaire des raies D est de 12′, leur distance apparente est de 15^{mm} environ, la longueur du spectre est de 15^{m}.

J'ai profité de quelques jours de soleil pour faire, sinon des études, au moins des essais de mon appareil. Les figures ci-jointes donneront une idée de l'aspect que présentent certains groupes et des dimensions que doit avoir le spectre. Voici le résumé des observations que j'ai pu faire jusqu'à ce jour :

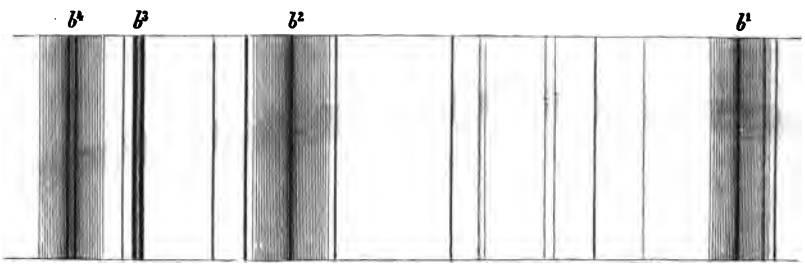
1° Dans le spectre solaire, le nombre des raies s'accroît considérablement avec la dispersion, mais il est loin de croître proportionnellement à cette dispersion.

2° Un grand nombre de raies s'élargissent, tandis que d'autres restent d'une finesse extrême.

3° Beaucoup de raies, dessinées comme simples dans les Tables d'Angström, se dédoublent : telles sont b_3, b_4, la moins réfrangible du groupe E et la célèbre raie de la couronne 1474 de Kirchhoff.

Fig. 2.

Groupe *b*.



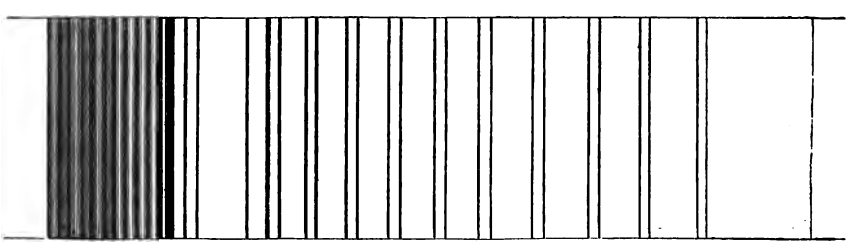
Toutes les raies que j'ai vues se dédoubler appartiennent à deux substances.

4° Les raies D_1, D_2 (*fig.* 1), b_1, b_2 et b_4 (*fig.* 2) sont constituées par un noyau noir se dégradant de part et d'autre, et d'une manière symétrique, en une nébulosité qui se perd insensiblement dans le fond brillant du spectre.

5° La raie F est une large nébulosité sans noyau, tandis que la

Fig. 3.

Groupe B.



raie C semble tenir le milieu entre la raie ordinaire et la nébulosité; elle est large et présente dans son intérieur quelque chose d'indécis et qu'il est difficile de définir.

6° Le spectre de l'arc électrique présente un fond tout strié de

raies innombrables, sur lequel se détachent en certains endroits des groupes de raies d'éclat différent et disposés avec une certaine régularité. C'est le spectre du carbone, sur lequel on voit se dessiner avec éclat les raies des divers métaux contenus dans les charbons.

7° Enfin, pensant que l'énorme dispersion de mon appareil me permettrait de vérifier aisément les déplacements de raies dus au mouvement de rotation du Soleil, j'ai disposé une expérience de la manière suivante. Un faisceau de lumière solaire, rendu horizontal et maintenu dans l'axe du collimateur par un héliostat, était reçu sur un objectif de lunette et formait sur la fente une image du Soleil. Deux prismes à réflexion totale et accolés par leurs faces hypoténuses étaient encastrés dans une monture tournante à axe horizontal et disposés entre l'objectif et l'héliostat de manière que l'axe du rayon lumineux passât par les faces hypoténuses perpendiculairement aux arêtes des angles droits. Les deux moitiés du faisceau, en traversant les prismes, se réfléchissaient sur les faces en contact et allaient former sur la fente deux images qui se superposaient. En introduisant entre les deux prismes une petite bande de papier, j'ai séparé les deux images et j'ai réussi à les rendre tangentes. J'ai fait tourner les prismes de manière à rendre tangentes les deux extrémités du diamètre équatorial et j'ai projeté ce point sur le milieu de la fente ; le spectre, alors, paraissait coupé horizontalement par une petite ombre. A leur passage dans cette ombre, les raies éprouvaient une brusque déviation et la partie inférieure n'était plus sur le prolongement de la partie supérieure. Les raies telluriques n'éprouvaient aucune déviation et permettaient de constater avec une remarquable netteté les déplacements éprouvés par les raies métalliques voisines. Les déplacements observés se rapportent très-sensiblement à ceux que donne le calcul ; ils sont, pour mon instrument, de $\frac{1}{5}$ de millimètre dans la région D.

Ces divers essais, faits à la hâte et dans des conditions désavantageuses, n'avaient d'autre but que de vérifier la valeur de mon appareil. Sans m'arrêter à tirer des faits observés des conclusions qui pourraient sembler téméraires, il m'est permis d'espérer que ce nouveau spectroscope rendra quelques services à la Science, en donnant la possibilité soit de rectifier certaines erreurs trop généralement répandues, soit d'étudier la constitution intime des raies spectrales et des bandes résolubles, soit enfin d'observer sur une

grande échelle les phénomènes qui se produisent dans les taches et les protubérances du Soleil.

Il est bon d'ajouter que les prismes composés décrits ci-dessus ne donnent d'excellents résultats qu'à la condition d'être parfaitement construits. En étudiant la manière dont ils réfractent le rayon lumineux, on voit que les faces de sortie multiplient successivement par des facteurs plus grands que l'unité l'action des faces d'entrée ; les déviations irrégulières se trouvent donc amplifiées comme la dispersion. Leur confection exige une étude spéciale et des soins tout particuliers.

Nouvelles recherches sur les poissons électriques ; caractères de la décharge du Gymnote ; effets d'une décharge de Torpille, lancée dans un téléphone ; par M. E.-J. Marey.

(Séance du 15 novembre 1878.)

Les physiologistes avaient été frappés de certaines analogies que présentent entre eux un muscle et l'appareil d'un poisson électrique. Ces deux sortes d'organes, en effet, soumis tous deux à la volonté, pourvus de nerfs à action centrifuge, ont en outre une composition chimique très-analogue et présentent dans leur structure quelques traits de ressemblance.

Mais ces vues, émises avant que les physiciens eussent formulé la théorie de la corrélation des forces, étaient nécessairement très-vagues. On peut mieux concevoir aujourd'hui que, dans l'organisme vivant comme dans nos appareils de Physique, des conditions très-analogues produisent ici du travail mécanique, là de l'électricité.

L'expérience devait montrer si réellement ces analogies existent dans le fonctionnement intime du muscle et de l'appareil des poissons électriques.

Après avoir montré que les actes musculaires sont complexes, c'est-à-dire qu'un muscle en tétanos ou en contraction exécute une série de petits mouvements successifs, que j'appelle *secousses,* qui s'ajoutent et se fusionnent pour produire le raccourcissement muscu-

laire, j'explorai la décharge de la Torpille pour y chercher aussi cette complexité. Faisant passer cette décharge à travers un appareil électromagnétique inscripteur, j'obtins le résultat que j'espérais : je vis que cette décharge est complexe, formée de *flux électriques* multiples, dont la fréquence est d'environ 150 par seconde.

Essayant ensuite sur l'appareil électrique et sur le muscle l'influence de certains agents, je constatai que de part et d'autre les résultats étaient les mêmes. Le froid, par exemple, ralentit la fréquence des secousses du tétanos musculaire et à certain degré les

Fig. 1.

éteint; une Torpille plongée dans de l'eau qu'on refroidit graduellement donne des décharges dont les flux sont de moins en moins fréquents et qui finissent par s'éteindre. La chaleur produit les effets inverses. Enfin certains poissons agissent de part et d'autre d'une manière analogue.

Les fonctions électrique et musculaire semblent donc réellement homologues entre elles et destinées à s'éclairer l'une par l'autre au grand profit de la Physiologie.

Mais, avant d'édifier une théorie aussi générale, il convenait de savoir si la multiplicité des *flux* électriques s'observe chez toutes les espèces de poissons qui donnent des décharges, de même que la multiplicité des secousses existe dans les muscles des divers animaux.

L'appareil électrique des Raies, celui du Silure du Nil, celui du Gymnote des bords de l'Amazone, doivent être explorés à cet égard.

Comme le Gymnote passe pour donner les décharges les plus fortes, je désirais vivement me procurer un de ces animaux; Faraday avait déjà réussi à en faire venir un en Angleterre.

Après d'infructueux essais, je parvins enfin à me procurer un de ces animaux vivant.

Le Gymnote était blessé et affaibli quand je le reçus; aussi me hâtai-je de faire sur lui quelques expériences. L'animal fut placé dans un grand bac rempli d'eau, puis on attacha deux plaques métalliques aux extrémités du fil d'un signal électromagnétique. Ces plaques, pressées contre le flanc du poisson, recueillirent les décharges, et j'eus la satisfaction de constater qu'elles étaient très-sensiblement pareilles à celles que donne la Torpille. On en jugera par la comparaison des deux tracés ci-joints : A est la décharge du Gymnote, B celle de la Torpille.

Cherchant ensuite si les influences de la température agissent sur le Gymnote comme sur la Torpille, je constatai que les effets sont les mêmes de part et d'autre : à 25°, le Gymnote donnait de vives décharges et avait une grande agilité musculaire; en le refroidissant, j'obtenais des décharges à *flux* plus rares; à 16°, je pouvais manier le poisson sans en recevoir de commotion.

Une indisposition assez prolongée m'empêcha de poursuivre ces expériences; le Gymnote mourut avant que je pusse les reprendre; du moins avait-il répondu aux principales questions que je voulais résoudre.

Les difficultés pour faire venir en France des poissons exotiques, et même l'impossibilité où je me suis trouvé cet été de me procurer, sur les côtes de Normandie, une Raie vivante, m'ont fait chercher un autre moyen d'analyser la décharge des poissons électriques. Le téléphone m'a semblé se prêter fort bien à cette analyse, puisqu'il rend un son quand il est traversé par des courants successifs de fréquence suffisante.

M. G. Pouchet travaillait alors à l'aquarium de Concarneau; je lui envoyai un téléphone avec les instructions nécessaires, et je reçus presque immédiatement la nouvelle que la décharge de la Torpille donne lieu à un son perceptible à distance, mais dont la tonalité est difficile à déterminer.

Tout récemment j'eus l'occasion d'expérimenter moi-même sur une Torpille et constatai que des excitations légères de l'animal provoquent un *coassement* assez bref, chacune des petites décharges provoquées ne se composant que d'une dizaine de *flux* et ne durant guère que $\frac{1}{15}$ de seconde. Mais, si l'on provoque une décharge prolongée en piquant le lobe électrique du cerveau, le son qui se produit dure trois à quatre secondes et consiste en une sorte

de gémissement dont la tonalité est voisine de mi_1 (165 vibrations), ce qui s'accorde sensiblement avec le résultat des expériences graphiques. Ce son augmente un peu en intensité et paraît s'élever un peu en tonalité quand, en remuant l'aiguille, on excite le lobe électrique du cerveau.

SÉANCE DU 7 FÉVRIER 1879.

PRÉSIDENCE DE M. BERTHELOT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 17 janvier est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. Itschner, principal du Collége de Béziers,
Renard, capitaine du génie à Meudon.

M. Cros expose ses recherches sur la photographie des couleurs.

M. Cornu présente un spectroscope construit d'après ses indications par M. Duboscq et destiné à l'observation des radiations ultra-violettes.

M. Niaudet présente, au nom de M. Gower, un nouveau téléphone analogue au téléphone de Bell par son principe, mais qui en diffère par le détail des dispositions adoptées et par l'intensité des sons perçus.

Les couleurs, le chromomètre et la photographie des couleurs; par M. Charles Cros.

Les couleurs proprement dites ne sont pas considérées généralement aujourd'hui comme des objets d'étude appartenant à la Physique. En effet, la plupart des physiciens actuels étudient les réfrangibilités définies par les raies spectrales, mais ne s'occupent pas de la nature spécifique des différents rayons, nature indépendante de la réfrangibilité.

On affirme que les couleurs appartiennent à la Physiologie, qu'elles n'ont pas de réalité objective.

Le mouvement lumineux n'est pas encore assez intimement connu pour que de telles déclarations soient valables. L'Optique est un peu à cet égard ce qu'était l'Acoustique, alors qu'on ne définissait les sons que par des nombres de vibrations, sans considérer le timbre.

Je distingue deux catégories comprises sous le mot de *couleurs :* les lumières et les pigments.

Les lumières élémentaires, qui par leurs mélanges produisent toutes espèces de teintes proposées, sont la lumière verte, la violette et l'orangée.

Les pigments élémentaires, qui par leurs mélanges produisent toutes les teintes proposées, sont le rouge, le jaune, le bleu.

Pour obtenir immédiatement les teintes élémentaires des lumières et des pigments, il suffit de regarder à travers un prisme une barre blanche sur fond noir et une barre noire sur fond blanc. Dans le premier cas, on voit un spectre orangé, vert, violet; dans le second cas, un spectre bleu, rouge et jaune.

Je dis que, dans le premier cas, l'orangé, le vert, le violet sont des lumières élémentaires, et que, dans le second cas, le bleu, le rouge, le jaune sont des lumières combinées deux à deux.

La discussion de la marche des rayons des deux images d'une barre blanche sur fond noir et d'une barre noire sur fond blanc démontrerait cette proposition; mais je préfère, dans cette courte Note, la démontrer par l'appareil que j'ai l'honneur de présenter à la Société de Physique sous le nom de *chromomètre.*

Dans une caisse noircie à l'intérieur, je dispose, parallèlement entre elles, trois glaces sans tain, formant des angles de 45° avec la paroi. Trois ouvertures, dont les images virtuelles dans les trois glaces viennent se placer en un même lieu apparent, sont munies d'écrans colorés liquides. Ces écrans sont des cuves plates en glaces, remplies des solutions suivantes : solution rouge de chlorure de cobalt, additionné d'un peu de sulfocyanure de potassium; solution jaune de chromate neutre de potasse; solution bleue de nitrate de cuivre. Je fais deux cuves de chaque couleur.

Ces solutions, qui ne sont pas peut-être les meilleures, devront être exactement dosées, et les épaisseurs des cuves être mesurées.

Soient les trois ouvertures A, B, C. Je place devant A deux cuves rouges, devant B deux cuves jaunes, devant C deux cuves bleues. Je regarde devant les glaces sans tain et je vois les trois reflets qui, en se combinant, donnent du blanc (si l'éclairage est égal pour chaque ouverture).

Si je masque A au moyen d'un écran opaque, je n'ai plus que deux reflets qui se combinent, celui du bleu et celui du jaune. L'apparence obtenue est celle d'un blanc moins éclairé; donc la lumière jaune et la lumière bleue additionnées ne font pas de vert. Le fait a été déjà annoncé par M. Helmholtz, dans des conditions analogues.

Si je masque B, les deux reflets rouge et bleu se combinent seuls, et la teinte est encore du blanc faiblement violacé. Enfin, en masquant C, on obtient toujours du blanc teinté d'orangé.

Alors je combine les cuves deux à deux, jaune et bleu, bleu et rouge, rouge et jaune, de manière que les écrans doubles ne laissent passer respectivement que du vert, du violet, de l'orangé. Les trois reflets combinés donnent du blanc, comme précédemment.

Mais, si l'on masque successivement A, B et C, les apparences changent complétement. Quand on supprime le *vert*, le fond se colore en *rouge carmin pur*, tel qu'on le voit dans le spectre trichrome de la barre noire sur fond blanc; quand on supprime le violet, le fond devient *jaune pur*, tel qu'on le voit dans le même spectre; quand on supprime l'orangé, le fond devient *bleu pur* (1).

J'ai nommé cet appareil *chromomètre*, parce qu'il peut servir à distinguer les couleurs les unes des autres par des données numériques. En effet, pour faire varier à l'infini la teinte résultante du champ visible, il suffit de faire varier l'éclairage de chaque ouverture. Tous les procédés photométriques sont bons pour cela; je me propose d'employer la méthode d'Arago, par la lumière polarisée. Mais je n'ai pu me permettre la construction coûteuse d'un tel appareil, et je me borne, dans l'instrument réalisé, à faire varier les éclairages en interposant des doubles plus ou moins nombreux de papier translucide.

---

(1) Pour la commodité de la présentation à la Société de Physique, j'ai remplacé ces systèmes de cuves par des verres respectivement colorés en violet, vert et orangé au moyen de collodions aux couleurs d'aniline.

Deux feuilles de papier mince collées sur verre reçoivent des épaisseurs d'encre de Chine variant régulièrement d'un bout à l'autre, et on les place devant le violet et l'orangé, les épaisseurs en sens inverse; enfin, une troisième feuille reçoit les épaisseurs maxima au milieu et les épaisseurs minima à ses deux bouts; elle est placée devant le verre vert. Le champ visible présente alors l'aspect du spectre de la barre noire sur le fond blanc; si l'on veut obtenir l'apparence du spectre de la barre blanche sur fond noir, il faut substituer au troisième papier un papier qui soit à celui-là ce qu'un positif photographique est à son négatif, c'est-à-dire avec les épaisseurs maxima aux deux bouts et l'épaisseur minimum au milieu.

Une des applications les plus curieuses du chromomètre est la suivante :

J'obtiens trois clichés d'après un tableau coloré quelconque, le premier cliché à travers un écran vert, le second à travers un écran violet, le troisième à travers un écran orangé. Ces écrans sont encore des cuves plates en glaces, contenant des solutions colorées titrées. Je remarque, en passant, que l'inégalité d'actinisme de ces différentes lumières est complétement compensée par diverses substances colorantes organiques, dont j'imprègne les plaques sensibles.

Les clichés obtenus sont formés d'argent réduit, comme les clichés ordinaires. J'obtiens les positifs noirs sur verre de ces clichés, et je place chacun de ces positifs, dans le chromomètre, devant l'écran de même couleur que celui qui a servi à tamiser les rayons dans l'obtention du cliché correspondant.

Je fais coïncider les trois reflets, et l'apparence résultante est celle du tableau modèle si l'on règle convenablement les trois éclairages.

J'ajoute quelques mots sur les pigments. Ce qu'on appelle la *couleur rouge matérielle* est une substance qui *supprime le vert* de la lumière blanche; il ne reste donc, des trois lumières élémentaires, que le violet et l'orangé, dont la *somme* est du rouge. De même, le pigment jaune est celui qui supprime la *lumière violette,* le pigment *bleu* supprime la *lumière orangée.*

J'en ai conclu que, en réalisant sur une même surface blanche les trois positifs en rouge, en jaune et en bleu, on obtiendrait sur

cette surface l'image du modèle coloré. L'expérience, réalisée soit par la taille-douce, soit par le procédé sur gélatine de M. Poitevin, a confirmé mes prévisions. J'ai eu l'honneur de montrer quelques spécimens de ces tirages à la Société de Physique [1].

J'ai donc trouvé les moyens physiques de reproduire les couleurs par la Photographie; ces moyens sont susceptibles de mesures exactes, et, partant, les résultats peuvent sans cesse s'approcher de la perfection. En outre, ces résultats sont bien photographiques, c'est-à-dire que la main de l'homme n'y intervient que pour des opérations appliquées à la totalité de la surface, d'où l'obtention également aisée des modèles les plus détaillés.

Spectroscope destiné à l'observation des radiations ultra-violettes [2]; par M. A. Cornu.

Le spectroscope que j'ai l'honneur de présenter à la Société ressemble complétement au spectroscope à deux prismes répandu dans les cabinets de Physique et les laboratoires de Chimie; il en diffère par la nature des matières transparentes qui entrent dans sa construction, car les matières employées ordinairement à la construction des spectroscopes, à savoir le crown-glass et le flint-glass, absorbent les radiations ultra-violettes au moins depuis la raie O, c'est-à-dire depuis la longueur d'onde égale à $\lambda = 340$ millionièmes de millimètre.

La description des diverses parties de cet instrument me fournira l'occasion de résumer une série d'études relatives à l'observation des radiations très-réfrangibles.

Collimateur et lunette. — L'objectif qui forme la partie essentielle du collimateur comme de la lunette est sensiblement achromatique; il est composé d'une lentille biconvexe de quartz et d'une lentille divergente plan concave de spath d'Islande, toutes deux

---

(1) J'ai pu faire cet ensemble de recherches pratiques grâce à l'aide éclairée de M. le duc de Chaulnes, à qui je témoigne ici ma reconnaissance.

(2) Construit dans les ateliers de M. Jules Duboscq.

taillées perpendiculairement à l'axe optique. Cette composition de l'objectif est extrêmement utile pour l'observation des spectres ultra-violets, en général, et surtout du spectre solaire, parce que dans toute l'étendue des radiations ultra-violettes du Soleil, que l'atmosphère terrestre laisse arriver jusqu'à nous, les objectifs sont presque rigoureusement achromatiques. Il en résulte que la variation du tirage de la lunette et du collimateur nécessaire pour passer d'une partie à l'autre du spectre est sinon nulle, du moins extrêmement faible; l'observation photographique ou fluorescente des spectres devient alors extrêmement simple; dans le cas du spectre solaire, l'achromatisme est assez satisfaisant pour qu'on puisse obtenir sur le même cliché la *totalité* du spectre chimique, depuis la raie F jusqu'à la limite extrême (raies S, T, U) la plus réfrangible.

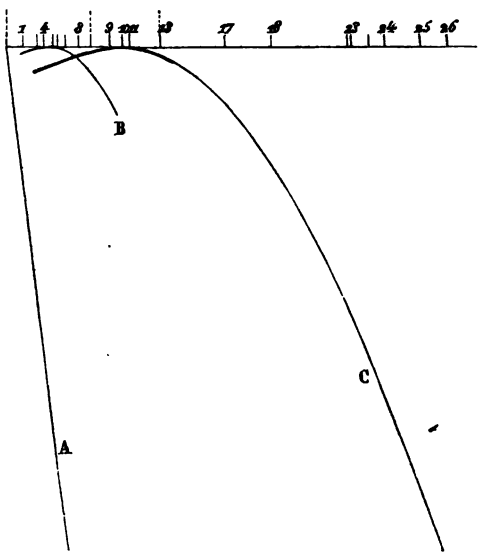
La perfection des images n'est pas absolument la même sur tous les points du champ, parce que la surface focale est légèrement courbe; mais on peut, par une série d'essais méthodiques, arriver à déterminer un plan focal moyen qui rend l'ensemble de l'image très-satisfaisant. On peut encore améliorer les résultats par divers artifices qu'il serait trop long d'énumérer, et qui consistent soit à incliner légèrement le plan de la surface focale adoptée, soit à obtenir la compensation réciproque des petites aberrations d'obliquité et de courbure des objectifs et des prismes.

Pour donner une idée des conditions de l'achromatisme que produit la combinaison quartz-spath d'Islande, je comparerai la variation de tirage de la lunette d'un spectroscope formé par des objectifs crown-glass dans l'observation du spectre solaire et du même spectroscope formé avec des objectifs quartz-spath ayant sensiblement la même distance focale moyenne; enfin, j'indiquerai la variation focale correspondant à des objectifs simples de quartz, employés d'ordinaire à ces observations (*fig.* 1).

Les abscisses de ces courbes représentent les déviations minima du rayon ordinaire d'un prisme de 60° en spath d'Islande, à l'échelle de $2^{mm},5$ pour 1°. Les ordonnées représentent en vraie grandeur les variations du tirage de la lunette mise au point sur la radiation correspondant à l'abscisse, le tirage du collimateur restant fixe à une valeur moyenne correspondant à une distance focale d'environ $0^{m},45$. La ligne ainsi formée représente *à peu près* la *courbe focale* des diverses radiations dans

une position moyenne du prisme, l'objectif étant fixe. D'après la figure, l'objectif serait situé au-dessus à la distance de $0^m,45$; il en résulte que la partie du champ pour laquelle l'achromatisme est sensiblement parfait est celle qui se trouve dans le voisinage du minimum de distance focale. On aurait la loi de répartition linéaire ou de superposition des foyers des diverses radiations pour l'image d'un point lumineux en supposant que la courbe s'aplatisse de plus en plus par la diminution de l'échelle des abscisses.

Fig. 1.



On voit que l'objectif crown-glass-flint-glass, très-satisfaisant pratiquement au point de vue de l'achromatisme des images, n'est pas meilleur que comme groupement des foyers à côté de l'objectif quartz-spath, pour une même étendue de spectre de part et d'autre du minimum de foyer (1).

---

(1) L'examen de ces courbes est très-instructif au point de vue de l'étude de l'achromatisme et donnerait lieu à une discussion dont voici brièvement les résultats :

1° Les courbes précédentes, qu'on peut obtenir empiriquement par l'observation de la variation du tirage, se déduisent très-simplement de la *courbe d'achromatisme* (voir *Journal de Physique*, t. III, p. 108) construite en prenant comme abscisse et

Ces objectifs achromatiques ont donc un grand avantage, au point de vue de la facilité et de la rapidité des observations, sur les lentilles simples de quartz; mais ils ont un inconvénient qu'il est juste de signaler : c'est l'imparfaite transparence du spath d'Islande pour les radiations très-réfrangibles. Ces objectifs, en effet, laissent voir avec la plus grande facilité les raies de l'étincelle du cadmium jusqu'au n° 25 (d'après la notation de M. Mascart, *Annales de l'École Normale,* 1re série, t. IV, p. 7), raie 26 du même métal, les raies 27, 28, 29 du zinc, et même, à la rigueur, la raie n° 30 de l'aluminium (notation de M. Soret, *Archives de la bibliothèque de Genève,* mars 1878, t. LXI); mais les raies 31 et 32 de l'aluminium sont complétement absorbées : avec les lentilles simples de quartz (et un prisme de quartz), ces raies, les plus réfrangibles qu'on ait observées jusqu'ici, apparaissent, au contraire, avec un assez vif éclat.

On atténue le pouvoir absorbant de ces objectifs en diminuant autant que possible l'épaisseur de la lentille divergente de spath d'Islande.

Les rayons de courbures adoptés pour la taille des objectifs sont les suivants; ils sont exprimés en fonction de la distance focale F de la lumière jaune de la soude (raie D) :

Quartz perpendiculaire à l'axe.

Surface convexe extérieure.....	$R = -0,4151\,F$
» intérieure.....	$R' = 0,3631\,F$

Spath d'Islande perpendiculaire à l'axe.

Surface concave intérieure.....	$R' = -0,3631\,F$
» extérieure.....	$R'' = \infty$

Ces courbures conviennent plus spécialement à l'étude du

---

comme ordonnée l'indice de réfraction de chaque radiation des deux matières à achromatiser.

2° Les petits changements de courbure ou d'écartement des deux lentilles ne modifient pas sensiblement les courbes représentées plus haut dans leur forme absolue; la modification équivaut à un changement dans la direction des axes coordonnés, de sorte que l'on peut se rendre immédiatement un compte très-exact de la répartition des foyers si la distance focale minimum correspond à une autre radiation.

spectre solaire ultra-violet, qui s'étend jusqu'à la longueur d'onde $\lambda = 294$, c'est-à-dire presque jusqu'à la raie n° 17 du cadmium. Dans cette étendue, le champ est symétrique par rapport à la raie n° 10, c'est-à-dire de longueur d'onde $\lambda = 347$, et présente une très-faible courbure. Si l'on diminuait un peu le rayon de la courbure R de la surface extérieure du quartz, on repousserait vers la partie la plus réfrangible le sommet de la courbe, c'est-à-dire le centre de symétrie du champ.

Ces courbures ne sont pas celles qui donnent théoriquement le minimum d'aberration de sphéricité; mais au point de vue pratique ce sont celles qui donnent les meilleures images, à cause des difficultés que présente la taille et le poli du spath d'Islande; en effet, les opticiens sont mieux outillés pour polir des surfaces planes que les surfaces courbes de spath; on a donc intérêt à supprimer la face très-peu courbe donnée par la théorie et à la remplacer par une face plane, qui, d'ailleurs, altère fort peu les conditions du minimum d'aberration sphérique.

On a essayé, pour atténuer l'imperfection de la surface concave de spath d'Islande, de *coller* avec un mastic réfringent (le baume de Canada ou le mastic en larmes) les deux surfaces en contact; mais le pouvoir absorbant de ces résines est tellement considérable pour les radiations ultra-violettes que, malgré la minceur de la couche interposée ($\frac{1}{10}$ de millimètre à peine) et la transparence de la matière employée, l'absorption commençait déjà à la raie n° 10 du cadmium ($\lambda = 346$), c'est-à-dire avant la fin du spectre solaire. Il a suffi de plonger les objectifs dans l'éther pour dissoudre le mastic et rendre aux objectifs leur transparence primitive.

Certains liquides peuvent néanmoins être utilisés pour le *collage*. Ainsi l'eau, l'alcool ou mieux la glycérine bien pure et bien décantée ne produisent aucune absorption sensible jusqu'à l'extrémité du spectre observable, sous l'épaisseur nécessaire à cette opération. On pourrait donc, dans certains cas où la finesse des images devrait être poussée un peu plus loin, se servir de cet artifice très-simple, à la condition de ne pas prolonger l'action des liquides sur le spath, dont la surface polie pourrait être altérée.

Enfin, une précaution qui contribue à la perfection des images

consiste à adopter pour les lentilles de quartz des épaisseurs égales et de pouvoir rotatoire inverse; on élimine ainsi, par compensation, des effets secondaires qui ne pourraient que troubler la netteté des foyers.

Prismes. — Le choix de la nature des prismes a nécessité aussi diverses études. Le spath d'Islande a l'avantage de présenter une très-forte dispersion dans le rayon ordinaire, mais il a l'inconvénient d'être difficile à bien tailler, et surtout d'absorber les radiations très-réfrangibles. Ce dernier inconvénient est bien plus grave pour le prisme, dont l'épaisseur moyenne est nécessairement considérable, que pour les objectifs dont l'épaisseur peut être beaucoup réduite. Aussi, avec un prisme de spath d'Islande, est-il difficile de dépasser la raie n° 26 du cadmium; encore faut-il observer le rayon extraordinaire qui paraît un peu moins absorbé que le rayon ordinaire.

La taille la plus favorable du prisme de spath d'Islande est celle pour laquelle l'arête est parallèle à l'axe optique; l'angle le plus usité est celui de 60°. Les deux spectres ordinaire et extraordinaire sont entièrement séparés et présentent des dispersions à peu près dans le rapport de 2 à 1.

Le quartz doit être préféré au spath si l'on veut observer jusqu'à l'extrême limite des radiations réfrangibles; d'un autre côté, il prend un poli d'une perfection incomparable à cause de sa grande dureté. Il offre toutefois, dans ses propriétés optiques, diverses particularités gênantes dont il a fallu éliminer les effets avant d'obtenir les meilleurs résultats.

La première particularité défavorable est la faiblesse de la biréfringence; les deux spectres ordinaire et extraordinaire sont superposés. On a souvent tourné cette difficulté en profitant de la polarisation des deux rayons pour éteindre l'un d'eux par un polariseur ou un analyseur convenablement placé; mais on tombe dans des difficultés d'un autre ordre provenant, d'une part, du pouvoir rotatoire des lentilles de quartz qui constituent les objectifs du spectroscope, et, d'autre part, de la construction d'un polariseur n'absorbant pas les radiations ultra-violettes.

Quoique je sois parvenu à une disposition additionnelle assez simple pour résoudre la difficulté, je n'ai pas considéré cette solution comme applicable à un spectroscope d'usage courant. En

effet, la multiplicité des surfaces réfringentes élimine une quantité notable de lumière, et, comme on opère déjà sur des rayons dont l'intensité est diminuée de moitié par la double réfraction, on risque de réduire à une fraction trop faible l'éclat des radiations à observer.

Il faut donc éviter la biréfringence et, pour cela, prendre l'axe optique du quartz perpendiculaire au plan bissecteur du prisme. Mais ici se présente la seconde particularité défavorable du quartz, à savoir le pouvoir rotatoire, qui dédouble les rayons incidents en deux rayons circulaires de rotation inverse. La biréfringence est, il est vrai, très-faible et n'a pas d'inconvénient sensible dans certaines expériences, comme celles de M. Stockes, lorsque l'on opère par projection sur un écran fluorescent; mais, dans les observations délicates, les images sont dédoublées et l'écartement croît rapidement avec la réfrangibilité. Ainsi on retombe sur les mêmes inconvénients.

Mais cette fois on peut aisément tourner la difficulté : il suffit de composer le prisme de deux moitiés de rotation contraire, la face intérieure étant perpendiculaire à l'axe. On obtient ainsi des images dont la netteté ne dépend plus que de la perfection des faces.

Par l'artifice indiqué plus haut, à savoir le collage des deux surfaces contiguës à l'aide d'une goutte d'eau, d'alcool ou de glycérine, on élimine l'influence de ces deux surfaces, tant au point de vue de l'imperfection de leur forme qu'à celui de la perte de lumière causée par l'interposition d'une lame d'air.

Dans le cas où l'on veut obtenir une dispersion double, la compensation du pouvoir rotatoire est plus simple encore : il suffit d'employer deux prismes de quartz ayant leurs plans bissecteurs perpendiculaires à l'axe optique, mais présentant des pouvoirs rotatoires de sens contraires. La dispersion est alors sensiblement la même que celle du rayon ordinaire du spath d'Islande, et on a l'avantage de la transparence complète et de la perfection du poli des faces.

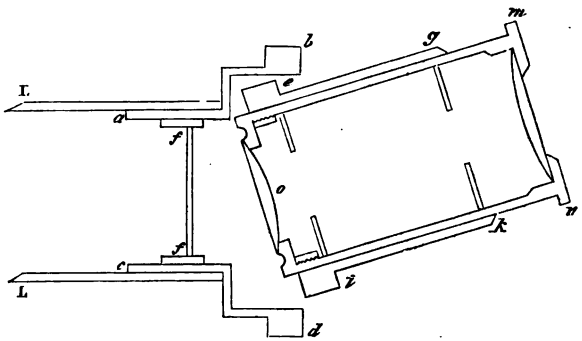
C'est la disposition adoptée dans le spectroscope que j'ai l'honneur de mettre sous les yeux de la Société.

Mode d'observation. — La précision des observations atteint un haut degré de perfection lorsqu'on emploie la Photographie.

Les dispositions très-simples à adopter ont été décrites par différents observateurs ([1]). Les clichés que l'on obtient ainsi ont une grande finesse et supportent des grossissements de 25 diamètres. On peut les conserver et les étudier à loisir, ce qui rend les observations encore plus précieuses. Le petit châssis porte-plaque que j'ai décrit ([2]) s'applique au spectroscope avec la plus grande facilité.

Mais, pour les usages courants et même pour préparer l'emploi de la Photographie, le mode d'observation le plus commode est l'emploi d'un oculaire fluorescent imaginé par M. Baille ([3]), et amené à une grande perfection par M. Soret (voir *Journal de Physique*, t. III, p. 253). A l'aide de cet oculaire (*fig.* 2), formé essentiel-

Fig. 2.



lement d'une lame fluorescente *ff* (verre d'urane) de 1^{mm} d'épaisseur, que l'on observe obliquement par transparence dans le plan des raies sous une incidence de 20° à 30°, les raies brillantes des vapeurs métalliques s'observent avec une grande facilité : il suffit de faire jaillir l'étincelle d'une bobine d'induction de grandeur moyenne, avec intercalation d'une bonne bouteille de Leyde entre deux électrodes du métal à étudier. La fente peut être amenée jusqu'à une assez grande finesse, à la condition de mettre la lame de verre d'urane exactement au foyer des radiations observées.

Pour s'exercer à ces observations, je conseille d'étudier d'abord

---

([1]) Becquerel, *La lumière*. — Mascart, *Annales de l'École Normale*, 1re série, t. I. — Cornu, *Ibid.*, 2e série, t. III, p. 241.

([2]) *Ibid.*, *ibid.*

([3]) *Annales du Conservatoire des Arts et Métiers*, 1867.

le spectre du magnésium, qui présente une raie quadruple excessivement intense ($\lambda = 280$) un peu au delà de la limite du spectre solaire. C'est, toutes choses égales d'ailleurs, la radiation ultraviolette très-réfrangible de beaucoup la plus intense que l'on puisse obtenir avec les métaux usuels. Les quatre composantes sont assez resserrées pour que l'ensemble puisse servir dans une foule de cas de source monochromatique.

Ensuite on s'exercera à observer les raies du cadmium, puis celles du zinc et enfin celles de l'aluminium, dont les plus réfrangibles forment la limite des radiations observables.

L'étude du spectre solaire est plus délicate lorsqu'on veut la pousser un peu loin. Il faut prendre beaucoup de précautions pour éviter les reflets à l'intérieur de l'oculaire fluorescent, et pour cela ajouter, à $0^m,02$ en avant de la lame fluorescente, un diaphragme d'ouverture aussi petite que possible; malgré cette précaution, on n'atteint pas la limite à laquelle on parvient avec la Photographie.

Pour obtenir plus de finesse dans les détails, sauf à perdre un peu d'éclat, il est bon de réduire l'épaisseur du verre d'urane à $0^m,5$; on doit même le remplacer, ainsi que l'indique M. Soret, par une petite cuve d'une solution d'esculine pour observer la région LMN, dans laquelle la fluorescence du verre d'urane est très-faible.

Repères. — La position des raies s'obtient surtout par comparaison avec un spectre déjà connu, et en particulier avec les raies du spectre solaire. On projette la raie dont on veut connaître la longueur d'onde sur le trait-réticule du verre d'urane, et l'on substitue à la source un faisceau solaire; mais on ne peut guère dépasser la longueur d'onde $\lambda = 300$.

Si la lunette du spectroscope est munie d'un mouvement micrométrique, on peut opérer sur toute l'étendue du spectre ultraviolet en rapportant les observations aux raies du cadmium, du zinc et de l'aluminium, qui forment une échelle suivant les conventions de MM. Mascart, Soret et Sarrazin.

Pour des observations moins précises, on peut se contenter de l'image d'une échelle divisée réfléchie sur la deuxième face du dernier prisme, comme dans les spectroscopes ordinaires. L'image de cette échelle est amenée dans le plan de la lame fluorescente, à la hauteur de la croisée des traits-réticules. On amène la raie à dé-

finir (observée obliquement par fluorescence) sur la croisée des traits, puis on abaisse l'oculaire de manière à voir par transparence les traits de l'échelle divisée : la croisée des traits définit sur l'échelle la position de la raie. On peut ainsi, indirectement il est vrai, mais d'une manière simple et rapide, construire la carte des spectres ultra-violets avec presque autant de facilité que celle des spectres visibles.

Téléphone de M. Gower; par M. A. Niaudet.

On connaît les différents moyens qui peuvent être mis en œuvre pour créer des téléphones.

Il faut mentionner pour mémoire les téléphones dits *musicaux,* qui sont fondés sur l'emploi de courants interrompus, qui reproduisent la hauteur des sons, qui peuvent à la rigueur trahir quelque différence dans l'intensité, mais qui ne peuvent en aucune façon donner le sentiment du timbre, ni, à plus forte raison, reproduire l'articulation, c'est-à-dire ces formes d'attaque des voyelles qui répondent aux consonnes.

On sait que les téléphones que M. Bell a appelés *articulants,* par opposition à ceux dont on vient de parler, sont fondés sur l'emploi de courants que l'illustre inventeur a appelés *courants ondulatoires.*

Ces courants sont caractérisés par des variations dans l'intensité qui peuvent être représentées par une sinusoïde, c'est-à-dire par la courbe qui représente les mouvements vibratoires. Ces variations périodiques, régulières, de l'intensité peuvent être obtenues soit par des variations de la force électromotrice, soit par celles de la résistance.

Les téléphones d'Edison et les microphones sont des appareils répondant au second mode de production, c'est-à-dire aux variations de la résistance.

Le téléphone de Bell et celui de M. Gower sont de l'espèce des appareils qui agissent par des variations de la force électromotrice.

On a souvent discuté la question de savoir si l'une de ces caté-

gories présente plus de facilité que l'autre pour la reproduction de sons très-intenses.

Il est certain que, si l'unique force en jeu est celle qui réside dans l'émission de la voix, on ne peut espérer qu'une reproduction affaiblie des sons émis ; et, si perfectionné que puisse jamais être un téléphone du genre de celui de Bell, il ne pourra jamais faire entendre à distance un son quelconque sans l'affaiblir.

D'autre part, si l'on met en jeu une pile, c'est-à-dire une force étrangère, la question est moins simple ; le raisonnement que nous avons fait plus haut n'est pas applicable ; mais ce n'est pas le courant lui-même avec son intensité qui produit l'effet acoustique, ce sont seulement les variations de ce courant. On est donc en doute sur l'avenir des téléphones à résistance variable.

En attendant que cette question soit éclaircie, M. Gower, qui est un champion du téléphone magnéto-électrique, a réalisé un appareil qui donne des résultats certainement inattendus. Pour les obtenir, M. Gower a mis en œuvre les aimants les plus forts qu'il a pu obtenir ; il a employé de l'acier d'Allevard, qui est considéré, depuis les nombreuses comparaisons faites par M. Jamin, comme le meilleur pour cet usage particulier ; il a donné à ces aimants une forme qui se rapproche d'un cercle entier à peine ouvert entre les deux points où l'on amène les pôles ; il a donné le magnétisme à ces aimants en faisant usage de courants très-intenses obtenus avec une machine de Gramme, et probablement plus puissants qu'il n'est nécessaire pour atteindre le maximum d'aimantation ; il a fait usage de bobines méplates qui lui ont donné de meilleurs résultats que les bobines cylindriques, sans doute parce que l'on peut les rapprocher davantage du centre de la membrane.

L'appareil est placé dans une boîte de laiton d'un volume très-réduit, et dont la sonorité propre est, par conséquent, minimum.

La membrane est montée sur un couvercle de laiton dans l'épaisseur duquel une cavité extrêmement mince est réservée, ce qui est fort important, car il est absolument nécessaire, si l'on veut obtenir une reproduction exacte des articulations, d'éviter tous effets de résonnance qui prolongent chaque son après le moment où il doit cesser pour laisser entendre celui qui lui succède.

C'est grâce à ces heureuses dispositions que l'on peut faire entendre un air de musique à toute une assemblée et, ce qui est plus

extraordinaire, faire entendre des paroles articulées à tout un cercle de quelques mètres de rayon.

L'intensité des sons n'est pas diminuée par l'emploi d'un tuyau acoustique de 1^{m} de long, soit au récepteur, soit au transmetteur; mais, avec cette addition, l'appareil n'est à l'usage que d'un seul auditeur à la fois.

Enfin, M. Gower a ajouté à son appareil un complément fort important, c'est-à-dire un appel analogue au sifflet des tuyaux acoustiques, appel fonctionnant sans l'assistance d'aucun courant étranger, d'aucune pile.

Voici en quoi consiste cet organe additionnel : sur la membrane, et placé excentriquement, est monté un petit tube ouvert d'un côté sur le dessus de la membrane, de l'autre à l'intérieur de la boîte. Ce tube contient une anche vibrante. Quand on souffle par le tuyau acoustique, on fait vibrer l'anche et elle rend un son assez intense; ses vibrations se communiquent directement à toute la membrane qui lui sert de support, et les excursions de cette membrane sont fort étendues. Elles ont pour effet la production de courants d'induction ondulatoires plus intenses que ceux qui se produisent habituellement dans les téléphones. Ces courants, transmis à un récepteur identique, y font répéter le son de l'anche avec une intensité suffisante pour constituer un appel convenable presque à tous les usages.

Pour qu'il n'y ait pas de malentendu, insistons sur ce point : les deux téléphones, transmetteur et récepteur, sont identiques et ont chacun leur anche vibrante; mais l'anche n'entre en jeu que dans le transmetteur et seulement quand on souffle, car, si l'on parle, on ne produit pas de courant d'air, mais seulement des vibrations de l'air. Enfin, il est très-remarquable que le poids relativement grand du tube et de l'anche ne trouble pas la netteté des sons articulés; il paraît même l'augmenter. On peut admettre qu'il joue ici le rôle d'étouffoir et supprime les effets de résonnance de la membrane, qui sont souvent appréciables dans les expériences téléphoniques et qui ne peuvent que nuire à l'effet cherché.

La sensibilité de l'instrument est telle, que l'on peut, en se plaçant à quelques mètres du transmetteur et parlant à haute voix, se faire entendre au récepteur placé dans une station éloignée; on

peut même pousser l'expérience jusqu'à tourner le dos au téléphone transmetteur, sans que le correspondant cesse d'entendre les paroles nettement et fortement prononcées.

SÉANCE DU 21 FÉVRIER 1879.

PRÉSIDENCE DE M. QUET.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 7 février est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. Bousquet, maître-adjoint à l'École Normale de Barcelonnette (Basses-Alpes).

Claude Couhin, avocat à la cour d'Appel de Paris.

Kowalski, professeur à l'École supérieure du Commerce et de l'Industrie, à Bordeaux.

Joseph Riban, directeur-adjoint du laboratoire d'enseignement chimique et des hautes Études, à la Sorbonne.

M. Duter expose la suite de ses recherches sur un phénomène nouveau d'électricité statique.

M. Trouvé présente un avertisseur téléphonique, imaginé par M. le capitaine d'artillerie Perrodon, et que M. Trouvé a réalisé pratiquement en appliquant son système d'interrupteur à came et à aiguille qui fait partie des appareils électro-médicaux déjà soumis à la Société.

M. Joubert présente un nouvel électroscope à feuilles d'or, construit par M. Guéroult.

Phénomène nouveau d'électricité statique; par M. E. Duter.

J'ai continué mes expériences (1) sur les changements de volume de la lame isolante de la bouteille de Leyde.

---

(1) Voir *Bulletin*, année 1878; p. 198.

Pour obtenir des résultats dont l'interprétation soit simple, j'ai fait construire, par M. Alvergniat, deux ballons de verre terminés par deux tubes thermométriques gradués; leurs rayons sont égaux respectivement à $43^{mm},15$ et à $43^{mm},09$, c'est-à-dire identiques; les épaisseurs sont différentes, $0^{mm},5$ pour le premier ballon, que je nommerai A, et $0^{mm},8$ pour le second, que je nommerai B; chaque division des tubes gradués qui servent à mesurer les changements de volume a une capacité de $0^{mmc},250$.

Cela posé, les ballons sont remplis d'eau à l'intérieur, revêtus d'étain à l'extérieur, et les bouteilles de Leyde ainsi formées sont électrisées. On observe alors les changements de volume correspondant à des différences de potentiel des armatures, mesurées par la distance explosive de l'étincelle qui peut éclater entre ces deux armatures. L'expérience se fait très-facilement au moyen d'un micromètre à boules; on trouve ainsi que dans une même bouteille les accroissements de volume sont proportionnels aux carrés des différences de potentiel des armatures, et que, dans deux bouteilles qui ne diffèrent que par l'épaisseur, ces mêmes accroissements varient en raison inverse de la simple épaisseur. Je donne ici les résultats comparatifs du calcul et de l'expérience relatifs aux bouteilles A et B; h est la variation de volume exprimée en nombre de divisions des tubes mesureurs, et d est la distance explosive de l'étincelle entre les deux armatures.

	h.			
	Bouteille A.		Bouteille B.	
d.	Mesuré.	Calculé.	Mesuré.	Calculé.
4.....	1	0,98	»	»
5.....	1,50	1,50	0,90	0,93
6.....	2,20	2,16	1,40	1,35
7.....	3	2,94	1,80	2,83
8.....	3,80	3,84	2,40	2,40
9.....	5	4,86	3	3,03
10.....	6	6	3,75	3,75
11.....	7,25	7,28	4,50	4,53
12.....	8,60	8,64	5,40	5,40
13.	10	10,14	6,25	6,33
14.....	»	11,76	7,30	7,35
15.	»	13,50	7,50	8,43

La loi énoncée se vérifie donc avec beaucoup d'exactitude et se traduit par l'équation

$$u = \frac{kV^2}{e},$$

où u est l'accroissement du volume de la bouteille, e son épaisseur, V la différence de potentiel de ses armatures, et k un coefficient caractéristique de la nature de la lame isolante.

Si les changements de volume observés étaient dus à la pression électrique, ils ne seraient pas en raison inverse de e, mais bien en raison inverse de e^2; il est, d'ailleurs, facile de calculer l'effet de la pression électrique qui s'exerce sur les deux faces des bouteilles sphériques.

Opérons, par exemple, avec une distance explosive de 10^{mm}, qui correspond à un potentiel 165; on trouve que la pression électrique est, pour la bouteille A, de $4^{gr},321$ par millimètre carré, c'est-à-dire de $432^{gr},1$ par centimètre carré, ou bien, en atmosphères, de $0^{atm},418$. Si l'on applique cette pression aux deux faces de la bouteille A, dont le rayon est $43^{mm},15$, l'épaisseur $0^{mm},5$, le pouvoir diélectrique 1,76, le coefficient de compressibilité $\frac{1}{10\,000\,000}$, on trouve que sa capacité intérieure s'accroît des $\frac{200}{1000}$ d'un millimètre cube ou de 1^{div} environ, c'est-à-dire de $\frac{1}{4}$ de la valeur totale; c'est précisément cette augmentation de volume qui compense rigoureusement l'erreur que l'on commet en mesurant les différences de potentiel par les distances explosives. Mais, si l'effet de la pression électrique n'est pas négligeable, on voit aussi qu'il ne suffit nullement à expliquer le phénomène et que l'on se trouve en présence d'une propriété nouvelle de l'électricité.

Téléphone-avertisseur; par M. le capitaine Perrodon.

Le nouvel avertisseur téléphonique que j'ai l'honneur de présenter à la Société est fondé sur le principe suivant :

Un téléphone quelconque rend un son continu, élevé et intense quand le courant d'une pile traverse sa bobine et passe en outre entre l'armature et un contact fixe. — Si d'autres téléphones

sont interposés dans le même courant, ces instruments vibrent tous à l'unisson du premier avec la même intensité.

On savait déjà que des interruptions de courant produites d'une manière quelconque font vibrer les téléphones en ligne assez fortement pour les faire résonner à *distance*. L'expérience précitée prouve en outre que tout téléphone peut suffire à fournir l'appel, *comme transmetteur*, en interrompant de lui-même le courant d'une manière automatique, sans qu'il soit nécessaire de recourir à aucun organe séparé de l'instrument.

J'étais convaincu de la nécessité d'adjoindre au téléphone un système d'appel, et je pensais d'autre part que, au point de vue des applications militaires, ce système d'appel ne serait pratique qu'autant qu'il laisserait au téléphone ces deux propriétés précieuses : son transport si facile, son emploi à la portée de tout le monde.

Il est évident qu'un système dans lequel l'appel est produit et reçu par le téléphone lui-même réalise, en principe, le maximum de simplicité.

Cependant, quelques auteurs rejettent *a priori* tout système d'appel nécessitant l'emploi d'une pile.

En fait, au point de vue militaire, les avertisseurs sans piles seraient à préférer. Mais les inconvénients de la pile ne doivent pas être exagérés. Si la pile est embarrassante dans les transports, que dire des bobines de câble qu'il faudra emporter? D'ailleurs, la pile compense ces inconvénients par le contrôle de la ligne qu'elle fournit, le téléphone servant lui-même de galvanomètre pour cette vérification.

En outre, on sait que les avertisseurs sans piles ont le grave inconvénient de ne transmettre qu'environ le $\frac{2}{100}$ du son produit au départ et à de faibles distances. Dans l'armée, le poste ne pourrait fournir l'appel sans trahir sa présence, et se ferait entendre, par une nuit calme, de 1 à 2^{km} de distance. Ce bruit serait en outre très-gênant, comme les sonneries, dans un établissement industriel.

D'ailleurs, une pile peut desservir deux ou plusieurs postes, comme cela pourrait se faire, par exemple, sur les chemins de fer à une voie, ou les gardes-barrières seraient munis de téléphones-avertisseurs, remplaçant avantageusement les cloches ordinaires et

fonctionnant tous par le courant d'une pile unique et fixe installée à la station voisine.

Comme on va le voir, cette condition est réalisée par le téléphone-avertisseur.

Description du téléphone-avertisseur. — Le téléphone, à l'état normal, est disposé pour la réception ; le courant de la pile traverse sa bobine, mais sans faire vibrer l'armature, dont la position d'équilibre est modifiée d'une manière permanente.

Pour avertir, il faut amener au contact de la membrane une pièce mobile qui sert en même temps de commutateur, et maintenir cette pièce dans une position fixe pendant tout le temps de l'appel.

Ce réglage, à la fois mobile et stable, était très-difficile à obtenir. Dans les dispositifs combinés, la production de l'appel exigeait toujours de l'adresse et un certain apprentissage.

Cette difficulté a été complétement résolue par M. Trouvé, qui a réalisé le téléphone-avertisseur en lui adaptant son interrupteur, bien connu, pour appareils électro-médicaux.

La figure ci-contre représente l'instrument, qui n'est autre qu'un téléphone ordinaire transformé.

Une aiguille métallique *a*, extérieure à la monture et mobile entre deux butoirs, commande un petit arbre de rotation E, qui porte deux cames F et G, à angle droit l'une sur l'autre. Cet arbre est à la fois un organe mécanique et un commutateur.

Dans la position représentée par le dessin, la came F soulève l'extrémité K du levier KL, fixé en L par une vis, et l'amène au contact d'un petit grain de platine rivé à la plaque.

Le courant, amené par l'un des conducteurs, parcourt la bobine, arrive à un contact I, suit le bord de la plaque rendue conductrice sur tout son pourtour, passe du grain de platine au levier K, à la came F, et par celle-ci à l'arbre E, qui communique toujours avec le fil de sortie.

C'est la position d'appel.

Le courant passant dans un sens tel que l'aimantation du barreau soit diminuée, ce que l'on obtient en attachant au pôle positif de la pile le conducteur qui porte une perle rouge, l'armature se redresse dès que le courant se ferme et le contact de platine fuit le levier K. Aussitôt, le circuit est ouvert, l'aimant reprend son énergie, la lame est attirée, le contact se rétablit et le circuit se

ferme; et ainsi de suite indéfiniment. La membrane vibre très-rapidement et rend un son aigu. Ces interruptions se reproduisant instantanément sur toute la ligne, les téléphones de tous les postes vibrent à l'unisson.

Fig. 1.

L'aiguille est alors vis-à-vis de la lettre A (*appel*). En la rabattant, à droite ou à gauche, vis-à-vis de l'une des lettres T (*téléphone*), ce qui la couche sur la surface extérieure de l'instrument, on fait tourner l'arbre E; la came F laisse d'abord baisser le levier KL, qui abandonne la plaque, puis perd elle-même tout contact avec ce levier.

En même temps, la came G vient presser sur le ressort H, qui

communique avec le bord de la plaque. Le courant, interrompu un court instant pendant le mouvement de l'aiguille, est de nouveau rétabli.

Il y a sous la plaque trois contacts en cuivre rouge, comme I. L'un d'eux est percé d'un trou et reçoit une goupille fixée à la plaque, et qui sert de repère pour mettre en regard le grain de platine et le levier KL.

Emploi de l'appareil. — A tous les postes, les téléphones sont mis en ligne de manière que le courant entre par le fil rouge.

Le poste qui veut avertir (*et tous le peuvent également bien, quelle que soit leur distance à la pile*) tourne lentement son aiguille de T vers A, en arrêtant de suite la rotation dès que l'appareil chante. S'il y a plus de deux postes, tous écoutent sans répéter l'appel, parce que cela entraînerait des longueurs. Le poste qui a appelé ramène son aiguille sur T et indique à la voix son numéro d'ordre et le poste interpellé.

Tous les postes non intéressés déposent leurs téléphones. Ces règles, d'ailleurs, peuvent se modifier au gré de chacun. On pourrait encore sonner un nombre de fois convenu pour appeler tel poste. Ce sont des détails sur lesquels nous ne nous arrêterons pas plus longtemps.

En résumé, voici les principaux avantages du système :

1° Extrême simplicité, dépense insignifiante et conservation complète de toutes les qualités du téléphone. Cet avertisseur, qui peut leur être appliqué à tous, permet de les placer immédiatement dans les meilleures conditions de réglage.

2° Avertissement très-bruyant avec 2 éléments pour des résistances de 100 à 110^{km}, les bobines de deux téléphones entrant déjà pour 90 à 95^{km} dans cette résistance.

La portée et le bruit croissent avec le nombre des éléments employés, ce dernier au point de devenir insupportable.

3° Contrairement aux autres systèmes d'avertisseurs, le bruit à l'arrivée est de même intensité qu'au départ. Il sert encore de moyen de contrôle, puisque le système ne peut fonctionner que si la ligne est intacte.

4° On peut placer un certain nombre d'instruments sur la même ligne, qui rendront tous simultanément, avec la plus grande fidélité, la note de celui qui commandera l'appel, malgré le plus grand

désaccord possible dans la tension des membranes, ce qui suffira au besoin pour distinguer les postes entre eux, comme cela se fait, avec les sonnettes d'appel, par la hauteur du son ou par la différence des timbres.

Ces avantages le recommandent tout particulièrement à l'armée, à laquelle il pourra rendre des services.

Il pourrait également remplacer, sur les lignes ferrées simples, les signaux à cloches, qui, avec une installation plus coûteuse, ne peuvent pas rendre des services aussi complets.

SÉANCE DU 7 MARS 1879.

PRÉSIDENCE DE M. BERTHELOT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 21 février est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. Buisson, ingénieur civil, à Évreux.
Gaumet (Francisque), lieutenant d'infanterie, à Paris.
Rognetta (F.-B.), ancien capitaine d'artillerie, représentant des usines du Creusot, à Turin (Italie).
Sainte-Claire Deville (Henri), ingénieur des manufactures de l'État, à Paris.
Sainte-Claire Deville (Émile), ingénieur à la Compagnie du gaz, à Paris.
Siccardi (le comte Émile), ingénieur, à Turin.

M. Bouty expose, au nom de M. Blondlot, ses recherches sur la non-existence de la dilatation galvanique.

M. Bertin présente, au nom de M. Duboscq, une lanterne de projection modifiée, de manière à donner des images redressées des objets : elle permet aussi d'incliner à volonté les images ou de les présenter renversées. Ce résultat est atteint par l'adjonction à la lanterne ordinaire d'un double prisme rectangle dont la face hypothénuse, commune aux deux prismes, fonctionne comme miroir et peut être placée dans tous les azimuts.

M. Bertin décrit et montre en projection le phénomène connu des houppes présentées par certains cristaux dichroïques quand on les place dans la lumière naturelle ou polarisée.

M. Ch. Cros présente des épreuves photographiques de spectres, obtenues par MM. Desains et Cros, à la lumière Drummond, dans le laboratoire de la Sorbonne.

De la non-existence de la dilatation galvanique; par M. Blondlot.

Un conducteur traversé par un courant électrique s'échauffe, et en conséquence subit un allongement. En dehors de cet effet prévu, existe-t-il une dilatation produite *directement* par le courant, en tant qu'action mécanique de celui-ci? La solution expérimentale de cette question présente de très-grandes difficultés, à cause de la coexistence de la dilatation thermique et de l'effet cherché, s'il existe.

M. Edlund, en 1866 (1), et M. Streintz, en 1873 (2), ont cherché à résoudre le problème en évaluant par des moyens détournés la température et déduisant de la dilatation totale observée l'effet thermique calculé à l'avance. M. Edlund mesurait la température du fil en expérience par la variation de sa résistance galvanique. M. Streintz faisait passer un courant d'intensité croissante jusqu'au moment de la fusion d'une couche de paraffine enduisant le conducteur; il admettait qu'à ce moment la température du fil était exactement celle de la fusion de la paraffine (55°,9).

Les deux expérimentateurs concluent à l'existence de l'allongement galvanique.

M. G. Wiedemann, en rendant compte de ces expériences dans son Traité du galvanisme (3), les critique sur plusieurs

---

(1) Edlund, *Poggendorff Ann.*, Bd. CXXIX, S. 15; 1866*. *Archives*, nouvelle série, t. XXVII, p. 269; 1866*. — Edlund, *Pogg. Ann.*, Bd. CXXXI, S. 337; 1867*.

(2) Streintz, *Wiener Berichte*, Bd. LXVII, [2]; april 1873*. *Pogg. Ann.*, Bd. CL, S. 368; 1873*.

(3) Wiedemann, *Galvanismus*, I, S. 961; *Nachträge*, S. 704.

points, en montre l'insuffisance, et sa conclusion est que la question ne peut être regardée comme résolue ([1]).

En présence de ces divergences, j'ai songé à une méthode d'expérimentation fondée sur un principe totalement différent, et où les causes d'erreur inhérentes aux méthodes précédentes ne se présentent pas.

Supposons un mince ruban métallique, intercalé dans le circuit d'une pile par l'intermédiaire de masses conductrices considérables, soudées à ses extrémités; la distribution électrique sera la plus simple qu'on puisse concevoir: tous les points seront traversés par des flux électriques égaux et parallèles; les surfaces d'égal potentiel seront les sections droites du ruban, et les lignes de courant des droites parallèles à la longueur. Il y a donc lieu, par rapport aux phénomènes électriques, de distinguer *deux directions,* la direction transversale et la direction longitudinale. Les phénomènes calorifiques, au contraire, *ne différeront aucunement selon que l'on considérera l'une ou l'autre direction.* De là le moyen de séparer les deux ordres de phénomènes.

Il est clair, en effet, que, tandis que la dilatation calorifique portera également sur la longueur et la largeur du ruban, en le laissant géométriquement semblable à lui-même, la dilatation galvanique, si elle a lieu, portera inégalement sur les deux dimensions et déformera le ruban. Par conséquent, toute déformation de la bande métallique ou des figures tracées sur sa surface doit être attribuée à un phénomène purement électrique, de même que l'absence d'une déformation implique la non-existence d'une action mécanique directe du courant. Par exemple, une droite n'éprouvera de la part de l'action calorifique aucun changement de direction, tandis que l'action galvanique diminuerait l'angle aigu compris entre cette droite et le bord du ruban.

Imaginons maintenant deux plis dont les arêtes AB et BC (*fig.* 1) forment un angle sur la surface du ruban; cet angle augmentera nécessairement si l'électricité produit un allongement (un calcul

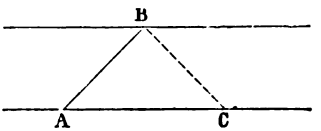
---

([1]) Quand j'ai entrepris mes expériences, j'ignorais que M. Exner, dans un travail récent (*Ann. de Pogg.*, CLVIII, et nouvelle série, t. II, p. 100) est arrivé à montrer que la méthode de M. Edlund est insuffisante pour prouver l'existence de la dilatation galvanique, les erreurs d'expérience étant de même ordre de grandeur que les quantités à mesurer.

des plus simples montre que cet effet sera maximum si l'angle du pli et du bord du ruban est de 45°).

Le phénomène est facilement multiplié en formant une succession de plis à 45°, alternativement vers la face supérieure du ruban

Fig. 1.



et vers la face inférieure, de façon à donner lieu à une sorte d'hélice quadrangulaire où les accroissements des angles s'ajoutent.

J'ai construit avec du laiton laminé recuit une telle hélice renfermant deux cents sommets d'angles. La partie supérieure (*fig.* 2)

Fig. 2.

était invariablement fixée; la partie inférieure, au contraire, était reliée au circuit de la pile par un godet contenant du mercure, de façon à pouvoir tourner; un miroir M permettait d'observer la rotation, d'après la méthode de Gauss-Poggendorff, au moyen d'une lunette et d'une règle divisée placées à 1^m de l'hélice. La pile, composée de 8 éléments de Bunsen, produisait un courant ayant dans l'hélice une densité égale à 37 en unités absolues électromagnétiques. L'observation la plus attentive ne nous a permis d'observer *aucune déviation,* même en portant à 10 le nombre des éléments. Comme on pouvait apprécier dans la lunette $\frac{2}{10}$ de millimètre sur la règle, il en résulte que, eu égard à la multiplica-

tion de notre appareil, une dilatation comportant par mètre seulement $0^m,00000025$ eût été sensible. Par conséquent, dans les limites d'extrême approximation que nous venons de définir, on doit conclure que *le passage d'un courant dans un conducteur métallique ne produit aucun effet mécanique d'allongement ou de raccourcissement.*

D'autres rubans de laiton, un autre en maillechort, ont donné le même résultat. Il est nécessaire que le métal de l'hélice soit soigneusement recuit, car le laminage constitue la matière dans un état moléculaire analogue à celui des cristaux à un axe optique, et alors on observe des rotations *lentes,* indiquant une inégalité du coefficient de dilatation calorifique dans différentes directions. Il faut aussi que les masses métalliques qui terminent le ruban soient régulièrement soudées, afin que la distribution du courant soit bien celle que nous avons indiquée; dans le cas contraire, on obtient également des rotations lentes. Ces remarques démontrent la sensibilité de la méthode et la rigueur du résultat, attendu que *toute* rotation *cesse* quand les précautions indiquées ont été observées.

Sur les houppes des cristaux polychroïques; par M. A. Bertin [1].

Quand on regarde le ciel blanc et par conséquent non polarisant à travers une lame d'andalousite taillée perpendiculairement à l'un des axes optiques, on observe de chaque côté de l'axe deux secteurs sombres sur un fond brillant: c'est ce qu'on appelle les *houppes* (*fig.* 1).

Quoique ce phénomène soit connu depuis longtemps, nos Traités de Physique n'en parlent pas, et c'est à peine s'il est signalé dans quelques Traités de Minéralogie. Il a été découvert par Brewster, en 1818, dans la cordiérite, l'épidote, l'axinite, le mica et la topaze [2].

---

[1] Un Mémoire de M. Bertin sur le même sujet a paru dans les *Annales de Chimie et de Physique,* 5e série, t. XV, p. 396.

[2] *Mémoire sur le dichroïsme des cristaux* (*Philosophical Transactions,* p. 11 à 29; 1819). Ce Mémoire est traduit dans le *Journal de Physique* de mars 1820, t. XC, p. 177 à 189.

Les houppes de la cordiérite, signalées les premières, sont faibles. Celles de l'épidote sont au contraire très-apparentes et colorées sur les bords ; on les voit même dans les cristaux naturels, mais il faut les chercher, tandis qu'elles apparaissent de suite dans les lames perpendiculaires à l'un des axes. Celles de l'axinite sont encore plus colorées. Le mica se clivant perpendiculairement à la ligne moyenne, il faut chercher ses houppes obliquement dans la direction des axes ; on les trouve alors par paires, et, comme on peut aussi observer les lemniscates au microscope polarisant, on constate que les houppes sont perpendiculaires au plan des axes : c'est ce qui a lieu dans tous les cas. Brewster a figuré des houppes très-apparentes dans la topaze bleue ; celles que j'ai pu voir dans la topaze jaune sont à peine sensibles.

Fig. 1.

Les plus belles houppes sont celles de l'andalousite, qui nous ont servi de type pour la *fig.* 1. Elles ont été découvertes par Haidinger en 1844 (1).

Celles du diopside ont été signalées par Biot.

Enfin, en 1854, de Senarmont a produit des houppes remarquables dans l'azotate de strontiane, en lui donnant un polychroïsme artificiel par une coloration au bois de Campêche (2) : c'est ce que j'appelle le *sel de Senarmont*. Malheureusement ce sel est très-efflorescent et toutes les lames préparées par de Senarmont sont perdues. Celles que je possède proviennent d'une préparation faite à l'École Normale par M. Bichat. Les unes sont taillées perpendiculairement à l'axe et donnent une belle houppe noire sur un fond pourpre ; les autres sont perpendiculaires à la ligne moyenne et

(1) *Répertoire d'Optique* de l'abbé Moigno, t. IV, p. 1587.
(2) *Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, t. XLI, p. 330 ; 1854.

donnent, comme le mica, deux houppes perpendiculaires au plan des axes. De Senarmont parle aussi, dans ce Mémoire, des houppes de l'acétate de cuivre : elles sont faibles.

Tout récemment, M. Richard a retrouvé les houppes dans le clinochlore et M. Bertrand a signalé un phénomène analogue dans le platinocyanure d'yttrium.

Je réunis dans le Tableau suivant tous les cristaux dans lesquels les houppes ont été signalées et dans lesquels je les ai observées.

Noms des cristaux.	Signe.	Système cristallin.	Angle des axes intérieur.	Angle des axes extérieur.
1. Cordiérite	—	Orthorhombique.	39°,5	63°
2. Épidote	+	Clinorhombique..	88	»
3. Mica	—	Orthorhombique.	»	70
4. Axinite	—	Anorthique	74	»
5. Topaze	+	Orthorhombique.	65	120
6. Diopside	+	Clinorhombique..	59	»
7. Andalousite	+	Orthorhombique.	87,5	»
8. Sel de Senarmont	—	Clinorhombique..	»	31
9. Acétate de cuivre	+	Clinorhombique..	85	»
10. Clinochlore	+	Clinorhombique..	»	10 à 86
11. Platinocyanure d'yttrium.	+	Orthorhombique.	»	24

On voit par ce Tableau que tous les cristaux qui donnent des houppes appartiennent aux trois systèmes cristallins doués de deux axes optiques. On peut même remarquer que ces axes y sont en général très-écartés et qu'ils sont presque perpendiculaires dans les deux espèces qui donnent les plus belles houppes, l'andalousite et l'épidote. Tous ces cristaux sont polychroïques ; les houppes seraient même, suivant de Senarmont, caractéristiques du polychroïsme. Mais il ne faut pas pousser les choses à l'extrême : il y a beaucoup de cristaux polychroïques, et nous n'en avons trouvé qu'une dizaine donnant des houppes. Tout ce que nous pouvons dire de plus général, c'est que :

1° Les houppes ne s'observent que dans les cristaux biaxes polychroïques ;

2° Elles sont toujours perpendiculaires au plan des axes et centrées sur le point où l'axe optique perce le cristal.

Si, au lieu de regarder nos lames sur un ciel blanc, nous les observons sur un ciel bleu, qui réfléchit de la lumière partiellement polarisée, le phénomène changera d'aspect; les houppes se couvriront d'anneaux traversés par une ligne neutre blanche ou noire

et qui se déplacera avec le cristal. Il importe donc d'étudier les houppes dans la lumière polarisée.

Combinons, par exemple, nos lames avec une tourmaline dont l'axe sera parallèle ou perpendiculaire aux houppes. Si nous avons affaire à une andalousite, par exemple, dont nous avons placé la ligne des houppes horizontale, la tourmaline parallèle aux houppes nous montrera la *fig.* 2 et la tourmaline perpendiculaire aux houppes nous fera voir la *fig.* 3.

Fig. 2.

Fig. 3.

Nous aurons les mêmes apparences sans tourmaline si, tenant la ligne des houppes horizontale, nous recevons sur l'andalousite la lumière réfléchie par une glace noire horizontale ou par une vitre verticale.

Ce sera encore la même chose si nous regardons à travers la même lame, dont la ligne des houppes sera toujours horizontale, la lumière sortant d'un prisme biréfringent dont la section principale serait verticale. Quand les houppes apparaîtront dans l'image ordinaire, nous aurons la *fig.* 2, et, si nous les amenons ensuite dans l'image extraordinaire, nous verrons la *fig.* 3.

Nous conclurons de toutes ces observations concordantes que les anneaux de la *fig.* 2 apparaissent dans la lumière polarisée quand ses vibrations sont parallèles à la ligne des houppes, et qu'ils sont remplacés par les anneaux de la *fig.* 3 quand ces mêmes vibrations sont perpendiculaires aux houppes.

Si nous remplaçons maintenant l'andalousite par l'épidote, les phénomènes seront précisément les inverses des précédents, et ce qu'il y a de singulier, c'est que tous les autres cristaux se comportent comme l'épidote.

En résumé, si nous observons les houppes dans un champ de lumière polarisée, nous verrons :

	La vibration incidente étant parallèle aux houppes.	La vibration incidente étant perpendiculaire aux houppes.
Avec l'andalousite.....	la *fig.* 2	la *fig.* 3
Avec l'épidote et les autres cristaux.....	la *fig.* 3	la *fig.* 2

Enfin, si la lumière est polarisée des deux côtés ou si nous observons nos lames dans une pince à tourmalines, en tenant toujours la ligne des houppes horizontale, nous apercevrons dans l'andalousite les franges de la *fig.* 4 si les axes des tourmalines sont parallèles aux houppes, et une figure analogue à la *fig.* 5 s'ils sont

Fig. 4.

Fig. 5.

perpendiculaires. Nous appellerons *fig.* 5 B celle que nous verrons dans ce dernier cas, et qui ne diffère de la *fig.* 5 que parce que la ligne neutre, qui est sombre dans celle-ci, est claire dans la figure observée. Notre *fig.* 4 paraît n'être que la reproduction de la *fig.* 2; mais, en réalité, les anneaux sont plus beaux, plus nombreux et plus marqués lorsque la pince est complète que lorsqu'on a enlevé une tourmaline. Notons encore que dans la *fig.* 4 les anneaux paraissent limités à l'espace occupé par les houppes, tandis que ceux de la *fig.* 5 B occupent tout le champ.

Si nous remplaçons l'andalousite par l'épidote, nous aurons les phénomènes inverses, c'est-à-dire la *fig.* 4, quand les axes des tourmalines parallèles seront perpendiculaires à la ligne des houppes, et la *fig.* 5 B quand ils lui seront perpendiculaires. Tous les cristaux du type épidote donneront les mêmes résultats; mais il est bien entendu que, pour que les franges soient belles, il faut que les lames ne soient ni trop colorées ni trop épaisses.

Enfin, si les tourmalines sont croisées et la ligne des houppes

perpendiculaire à l'axe de l'une d'elles, on observera la *fig.* 5 exactement, c'est-à-dire des anneaux traversés par une ligne noire, qui pour tous les cristaux est perpendiculaire à la ligne des houppes.

En résumé, nous voyons que, en observant une lame donnant des houppes successivement dans la lumière naturelle, dans la lumière polarisée d'un côté et dans la lumière polarisée des deux côtés, le phénomène qu'elle nous présentera se modifiera progressivement de la *fig.* 1 d'abord aux *fig.* 2 et 3, puis à la fin aux *fig.* 4 et 5. Mais celles-ci sont bien connues : ce sont les franges des biaxes perpendiculaires à l'un des axes, comme sont les lames de clivage du sucre candi.

La théorie de ces franges est aussi connue. Si on la restreint au cas où l'angle des axes est très-grand, comme dans l'andalousite et l'épidote, que nous visons spécialement dans cette étude, cette théorie se simplifie et conduit à la formule

$$I = \cos^2\theta + \sin(\alpha + \varphi)\sin[2\theta - (\alpha + \varphi)]\sin^2\pi\frac{\lambda}{\delta},$$

dans laquelle I est l'intensité de la lumière qui a traversé la pince à tourmalines, θ l'angle des axes des tourmalines, α l'azimut du plan des axes de la lame ou l'angle qu'il fait avec l'axe de la première tourmaline, et φ l'azimut variable du plan de réfraction, compté à partir de la même origine ; δ est le retard que la lame imprime aux deux rayons qui la traversent. J'ai démontré, dans mon Mémoire sur la surface isochromatique [1], que les franges étaient ici des anneaux équidistants, dont le rayon est proportionnel à δ. Ces anneaux sont traversés par des lignes neutres que nous allons trouver en discutant l'équation.

1° *Tourmalines croisées.* — Si $\theta = 90°$, on a

$$I = \sin^2(\alpha + \varphi)\sin^2\pi\frac{\delta}{\lambda}.$$

La ligne neutre est donnée par $\varphi = -\alpha$ et son intensité est nulle. Pour $\alpha = 0$, $\varphi = 0$; la ligne neutre est donc suivant l'axe de la première tourmaline, *fig.* 5. Si l'on fait tourner la lame sur son axe, la ligne neutre tourne en sens contraire du plan des axes et se con-

---

[1] *Annales de Chimie et de Physique,* 3e série, t. LXIII, p. 96.

fond de nouveau avec lui quand il coïncide avec l'axe de la deuxième tourmaline, ou de la tourmaline oculaire.

2° *Tourmalines parallèles.* — Si $\theta = 0$, on a

$$I = 1 - \sin^2(\alpha + \varphi)\sin^2\pi\frac{\delta}{\lambda}.$$

La ligne neutre correspond encore à $\varphi = -\alpha$; mais cette fois elle est brillante, car son intensité est 1, c'est-à-dire égale à celle de la lumière incidente. Cette ligne brillante tourne donc en sens contraire du plan des axes et se confond avec lui dans deux cas seulement : pour $\alpha = 90°$, elle est alors perpendiculaire aux tourmalines (*fig.* 4); et, pour $\alpha = 0$, elle est alors parallèle aux tourmalines; ce sont les franges que nous avons désignées sous le nom de *fig.* 5 B.

Si dans la direction $\varphi = -\alpha$ l'intensité est zéro ou 1, il en est encore à peu près de même dans une direction peu écartée. Par exemple, à 6° de cette ligne, $\sin^2 6°$ étant égal à $\frac{1}{100}$, la variation d'intensité est insensible, c'est-à-dire que la ligne neutre s'étale à partir du centre et forme réellement deux secteurs de 12° environ.

Telle est la théorie des anneaux représentés dans les *fig.* 4 et 5; ceux des *fig.* 2 et 3 s'en déduiront si nous trouvons dans les cristaux dichroïques ce qu'il faut pour remplacer la tourmaline absente. Ces anneaux sont déjà plus effacés que les premiers, et, si l'on enlève encore la seconde tourmaline, on retrouve des houppes qui peuvent passer pour des anneaux encore plus effacés que les seconds. Telle est l'idée que W. Herschel développe dans son *Optique* (§ 1068). Pour expliquer comment les houppes ne sont que des anneaux effacés, il suppose que le cristal qui donne des houppes est un cristal irrégulier dans lequel les axes des diverses parties ne coïncident pas. Un pareil cristal donnerait des anneaux brouillés, parce que les maxima et les minima se superposeraient en partie, et il en résulterait que la partie qui devrait être occupée par les anneaux serait seulement moins éclairée que le reste du champ. « On peut ajouter, dit-il, à l'appui de cette hypothèse, que, si dans les cristaux à houppes on examine les anneaux polarisés ordinaires, on trouve ces derniers d'une extrême irrégularité, ce qui prouve visiblement la non-coïncidence des axes. »

Pour moi, je n'ai jamais remarqué d'irrégularité dans les anneaux de l'andalousite, par exemple; je crois qu'il faut chercher ailleurs

l'explication de ses houppes et ne pas oublier que c'est un phénomène qui est toujours accompagné d'un dichroïsme prononcé.

On sait que le dichroïsme consiste dans une absorption inégale des deux faisceaux lumineux dans lesquels se décompose la lumière qui tombe sur une lame cristallisée. Le cas le plus remarquable de ce genre est celui que Biot a découvert dans la tourmaline en 1814 (1). Ce cristal absorbe rapidement le rayon ordinaire, de façon que, sous une épaisseur en général très-petite, une lame parallèle à l'axe ne laisse plus passer que les vibrations dirigées suivant l'axe. Dans les tourmalines noires l'absorption se fait à peu près également pour toutes les couleurs, de sorte que le rayon ordinaire s'affaiblit sans se colorer. Mais il n'en est pas de même dans la plupart des cristaux dichroïques; cela n'a jamais lieu notamment dans les cristaux polychroïques, qui sont toujours biaxes. Mais il suffit que l'absorption soit inégale dans les deux rayons pour que le faisceau qui a traversé une pareille lame ne soit plus de la lumière naturelle, mais de la lumière partiellement polarisée. Cette polarisation partielle ne diffère de celle de la tourmaline que par l'intensité, et une lame dichroïque peut toujours être assimilée à une tourmaline qui serait trop mince pour éteindre complétement l'un des rayons. Aussi peut-on, dans la pince à tourmalines, remplacer l'une des tourmalines ou toutes les deux par une andalousite ou par une épidote. J'ai une pince semblable, dans laquelle, il est vrai, l'andalousite et l'épidote sont parallèles aux axes; mais il est facile de s'assurer que, si ces lames étaient perpendiculaires à l'un des axes, elles pourraient encore nous servir, c'est-à-dire qu'elles polarisent toujours partiellement la lumière.

Prenons par exemple notre andalousite, qui donne les houppes de la *fig.* 1, et plaçons-la, les houppes horizontales, derrière un prisme biréfringent à section verticale, donnant deux images écartées d'une ouverture. En inclinant un peu la lame autour de la ligne des houppes, celles-ci sortiront du champ et les deux images seront uniformes, mais différentes entre elles par la couleur et l'intensité. L'ordinaire sera la plus brillante et elle sera à peu près blanche; l'extraordinaire sera la plus sombre et elle sera d'un beau rouge. Nous conclurons de là que, des deux vibrations transmises

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, t. XCIV, p. 131; 1815.

par l'andalousite, celle qui est parallèle aux houppes est la plus intense et celle qui leur est perpendiculaire ou qui est parallèle au plan des axes, la plus faible. Ce sera le contraire pour l'épidote et les autres cristaux à houppes, comme l'indique le Tableau suivant :

	Vibration émergente, la vibration incidente étant	
	parallèle aux houppes.	perpendiculaire aux houppes.
Andalousite.....	Image intense, blanche.	Faible, rouge.
Sel de Senarmont...	» faible, rouge.	Intense, blanche.
Épidote	» » brune.	» vert clair.
Axinite.....	» » rougeâtre.	» jaune.
Cordiérite..	» » bleue.	» jaune
Diopside	» » vert sale.	» jaune.
Mica	» » rougeâtre.	» jaune.

Ainsi la lumière qui a traversé nos lames est formée par des vibrations très-inégales : les plus intenses sont parallèles aux houppes dans l'andalousite et perpendiculaires aux houppes dans l'épidote et les autres cristaux.

On peut aller plus loin et placer en avant du prisme biréfringent un spectroscope à fente verticale ; on voit alors deux spectres, l'ordinaire, qui renferme toutes les vibrations parallèles aux houppes, et l'extraordinaire, qui renferme toutes les vibrations perpendiculaires aux houppes ou parallèles au plan des axes. On observe alors que :

Avec l'andalousite, le spectre ordinaire est brillant et à peu près complet, tandis que l'extraordinaire est plus faible et incomplet, le rouge y domine, le vert et le jaune y sont très-faibles, le bleu complétement absent.

Avec l'épidote, au contraire, le spectre extraordinaire est le plus intense, mais il n'est plus complet ; le vert y domine, le rouge est faible, les autres couleurs sont absentes ; le spectre ordinaire est extrêmement faible, et le vert notamment y fait complétement défaut.

1° Considérons d'abord l'andalousite perpendiculaire à un axe.

Traçons sur la lame la direction des houppes et la direction perpendiculaire, qui représentera le plan des axes, et décomposons la lumière naturelle qui tombe sur la lame suivant ces deux directions. Nous obtiendrons ainsi deux vibrations polarisées à angle droit qui, d'abord égales, se différencieront de plus en plus en traversant le cristal et donneront à la sortie deux faisceaux différents, l'un provenant des vibrations parallèles aux houppes, que nous ap-

pellerons H, et l'autre provenant des vibrations parallèles au plan des axes et que nous appellerons A. Ici H est plus grand que A. La lumière A se compose de rouge, d'un peu de vert et de jaune; prenons-en autant sur H : nous aurons ainsi deux rayons de même couleur polarisés à angle droit. Ces deux rayons reconstitueront de la lumière naturelle 2 A qui sera répandue sur tout le champ, et il nous restera un faisceau coloré, polarisé, d'intensité H — A, formé par les vibrations parallèles aux houppes. C'est donc comme si la lame d'andalousite de couleur 2 A avait été placée entre deux tourmalines parallèles aux houppes, et exposée à la lumière H — A. C'est le cas des tourmalines parallèles entre elles et perpendiculaires au plan des axes. Or, nous avons vu que dans ce cas les franges sont des anneaux à centre blanc, traversés par une houppe brillante perpendiculaire aux axes des tourmalines et d'intensité H — A. Cette lumière H — A, s'ajoutant à la couleur 2 A du fond, donnera, pour la lumière de la ligne neutre, H + A, c'est-à-dire la couleur naturelle de l'andalousite, qui est un blanc très-peu teinté de jaune et de vert.

De chaque côté de la ligne neutre s'étalent deux secteurs qui devraient être traversés par des anneaux correspondant aux maxima et aux minima; mais ces maxima et ces minima seront, pour ainsi dire, étouffés par la lumière générale 2 A, qui est rouge, et l'on ne verra que deux secteurs rouges. Cependant, en y regardant de près, on verra poindre les traces des deux premiers anneaux, comme l'a très-bien remarqué l'artiste qui a dessiné la *fig.* 1.

Veut-on faire apparaître distinctement ces anneaux, il faut éteindre la lumière A, qui nous gêne. Il suffit pour cela de polariser la lumière à l'entrée avec une tourmaline perpendiculaire au plan des axes ou parallèle aux houppes. On voit alors, en effet, les anneaux représentés *fig.* 2.

Mais, si l'on mettait l'axe de la tourmaline perpendiculaire aux houppes, l'andalousite serait alors dans le même cas que si elle était entre deux tourmalines croisées, la vibration incidente étant uniquement suivant le plan des axes et la vibration émergente principalement suivant les houppes; on aurait alors les anneaux traversés par une bande noire de la *fig.* 3.

Si l'on observe l'andalousite entre deux tourmalines, c'est l'action de celles-ci qui l'emporte, et l'on a alors les franges connues des

biaxes perpendiculaires, la *fig.* 4 avec les tourmalines parallèles et la *fig.* 5 avec les tourmalines croisées.

2° S'agit-il maintenant de l'épidote, il faut se rappeler que cette fois A est plus grand que H. Nous prendrons alors sur A une lumière égale à H, c'est-à-dire du rouge et un peu de bleu, de manière à faire le brun de l'image ordinaire, et nous trouverons sur tout le champ une couleur brune égale à 2 H. La couleur A — H subira seule une transformation de ses vibrations dans le cristal, comme si la lame était placée entre deux tourmalines parallèles entre elles et au plan des axes. Dans ce cas, nous avons encore trouvé des anneaux avec une ligne neutre qui est parallèle au plan des axes, et par conséquent toujours perpendiculaire aux houppes. Elle doit avoir pour couleur A — H, qui s'ajoute à la couleur 2 H du fond pour former la couleur A + H, la teinte naturelle du cristal. Quant aux anneaux, ils sont bien mieux, cette fois, étouffés par la couleur brune 2 H répandue sur tout le champ, et l'on n'en voit pas trace.

Si l'on veut les faire apparaître, il faut éteindre la lumière H avec une tourmaline parallèle au plan des axes, et l'on obtient la *fig.* 2.

Mais, si on la tournait pour que son axe fût parallèle aux houppes, les deux vibrations d'entrée et de sortie seraient rectangulaires, et l'on aurait les anneaux des tourmalines croisées (*fig.* 3).

Entre deux tourmalines, on obtient naturellement les *fig.* 4 et 5.

En résumé, il faut considérer les lames biaxes perpendiculaires qui donnent des houppes comme placées naturellement dans une mauvaise pince à tourmalines parallèles. La lumière qu'elles transmettent se compose de lumière naturelle 2 A ou 2 H et de lumière polarisée H — A ou A — H, qui vibre tantôt parallèlement aux houppes et tantôt perpendiculairement. Les houppes sont formées par des segments d'anneaux qui ne sont pas apparents, parce qu'ils sont noyés dans la lumière naturelle.

On voit que les houppes ne sont possibles que si la lumière polarisée H — A a une intensité notable ou si le dichroïsme est prononcé. Voilà pourquoi on ne les trouve pas dans tous les cristaux polychroïques, malgré l'aphorisme de Senarmont. L'addition d'une tourmaline au cristal aiderait puissamment dans ces recherches, car elle augmente d'une manière très-sensible l'éclat des houppes trop faibles.

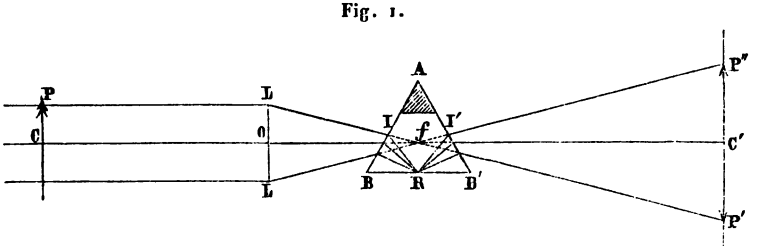
William Grosseleste
Ingénieur

Sur l'appareil redresseur de M. Duboscq ; par M. Bertin.

Les appareils de projection, comme la lanterne magique, donnent toujours des images renversées. Le plus souvent cela n'a pas d'inconvénients, parce qu'on peut renverser l'objet; mais il est des cas où l'objet doit rester droit, et alors on n'a plus d'autre ressource que de redresser l'image. Pour obtenir ce résultat, M. Duboscq a eu l'idée de recevoir les rayons qui iraient former l'image renversée, sur un prisme à réflexion totale, où ils se réfléchissent en donnant une image symétrique de la première et par conséquent redressée par rapport à l'objet.

Considérons une lentille LL (*fig.* 1) tournée vers le Soleil. Elle

Fig. 1.



recevra de cet astre un faisceau cylindrique de lumière qu'elle transformera en un faisceau conique, convergent à son foyer f. Ce foyer ne sera pas un point, mais un petit cercle, qui, vu du centre optique du Soleil, sous-tendra un angle d'environ 0°,5, comme le Soleil, ce qui lui assigne un diamètre d'environ $\frac{1}{100}$ de la longueur focale $\left(\text{exactement } d = \frac{f}{107}\right)$. La lumière sortant de la lentille formera donc un tronc de cône dont la grande base sera la lentille et la petite base l'image focale du Soleil ; à partir de cette image, le faisceau deviendra divergent et ira éclairer le tableau. C'est dans ces faisceaux coniques opposés par le sommet qu'il faut chercher les pinceaux lumineux qui nous donneront les images des objets.

Un objet CP, placé en avant de la lentille et supposé transparent, sera éclairé par le Soleil de telle sorte, que chacun de ses points, tels que P, sera le sommet d'un cône de 0°,5. Ce pinceau conique

découpera sur la lentille un cercle de diamètre d' plus grand que le diamètre d de l'image focale du Soleil, si nous supposons que l'objet est à une distance de la lentille plus grande que sa longueur focale. Ce pinceau divergent est transformé par la lentille en un pinceau convergent qui a pour directrice l'image solaire et pour sommet le point P′, image du point P (¹). Ces pinceaux étant très-petits, nous ne les figurerons pas, pour ne pas compliquer la figure, et nous ne tracerons que leurs axes PL et LP′.

Voilà ce qui arriverait si on laissait les rayons se propager librement derrière la lentille; mais il n'en sera plus de même si on les reçoit, un peu avant le foyer principal, sur la petite face d'un prisme rectangulaire isoscèle BAB′, dont la face hypoténuse soit parallèle à l'axe optique de la lentille. Le faisceau conique, coupé par cette face, se réfractera en pénétrant dans le prisme, rencontrera la face hypoténuse en R sous un angle plus grand que l'angle limite, s'y réfléchira totalement et, renvoyé vers la seconde face du prisme, s'y réfractera sous le même angle qu'à l'entrée. Il sortira donc retourné d'un demi-tour autour du rayon central OC′, qui seul n'aura pas changé de direction. Le pinceau émané du point P, qui d'abord allait converger au point P′, suivra la direction LIRI′P″ et ira converger au point P″, symétrique du point P′ par rapport à la surface réfléchissante.

Nous avons supposé la face hypoténuse du prisme horizontale et nous avons eu dans ce cas un redressement vertical. Si l'on tourne le prisme autour de l'axe de la lentille, l'image se déplacera

---

(¹) On peut déduire de là l'équation des lentilles, car, si p désigne la distance de la lentille à l'objet et f sa longueur focale, on a d'abord

$$\frac{d'}{d} = \frac{p}{f};$$

on a ensuite, en appelant p' la distance de la lentille à l'image,

$$\frac{d'}{d} = \frac{p'}{p'-f},$$

d'où

$$\frac{p}{f} = \frac{p'}{p'-f}$$

ou bien

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{f}.$$

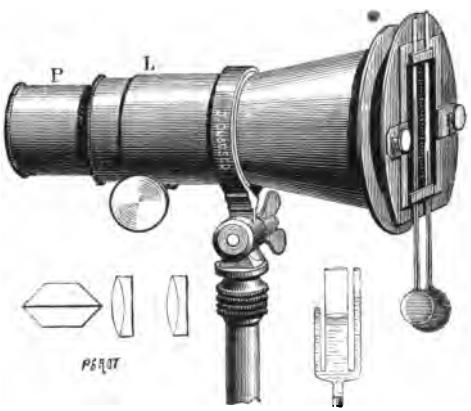
en tournant deux fois plus vite que le prisme. L'image de la flèche CP, par exemple, sera verticale et droite si l'hypoténuse du prisme est horizontale; elle sera verticale et renversée, mais reportée de droite à gauche, si le prisme a sa face hypoténuse verticale; enfin elle sera horizontale si la surface réfléchissante est inclinée à 45°. Il y aura dans ce cas deux positions pour l'image : si l'objet porte une échelle verticale de divisions graduées, l'échelle sera toujours horizontale, mais ses chiffres pourront être droits ou renversés.

Si l'on voulait redresser l'image dans un plan vertical seulement, rien ne serait plus facile; il suffirait de recevoir les rayons sortis de la lentille, un peu avant leur rencontre au foyer, sur un de ces prismes à réflexion totale que l'on a dans tous les cabinets de Physique : on n'aurait pas alors besoin d'un appareil particulier. Mais, si l'on veut produire d'autres retournements, il sera plus avantageux de monter le prisme dans un tube qui fera partie de l'appareil à projection et que l'on pourra faire tourner autour du rayon. C'est précisément ce que M. Duboscq a réalisé dans son redresseur, que représente la *fig.* 2.

L'objet à projeter est ici un thermomètre appliqué contre une échelle divisée sur verre. Pour améliorer les images, la projection se fait à l'aide de deux lentilles achromatiques : la première, la plus voisine de l'objet, a $0^m,36$ de longueur focale, la seconde en a $0^m,26$. Elles sont vissées à l'extrémité d'un tube, et leur distance invariable est de $0^m,06$ à l'extérieur et $0^m,04$ en dedans; le système a alors $0^m,15$ de foyer, comptés à partir de la dernière surface. Le tube porte-lentilles peut s'enfoncer plus ou moins dans un second tube, et celui-ci est mobile au moyen d'un bouton à crémaillère. La distance de la première lentille à l'objet est donc variable, mais elle est toujours plus petite que la longueur focale, de sorte que l'objet donnerait dans cette lentille une image virtuelle; celle-ci donne dans la seconde lentille une image réelle, que l'on reçoit sur un tableau blanc à une distance de 2^m ou 3^m. Derrière la seconde lentille, à une distance variable, mais toujours petite, se trouve placé le prisme réflecteur, qui pourrait être unique comme dans la *fig.* 1, mais qui en réalité est double, c'est-à-dire formé de deux prismes rectangulaires dont les faces hypoténuses sont parallèles entre elles et à l'axe optique du système (*fig.* 2).

Ce prisme double coupe le faisceau émergent près de sa base, et, quand on opère avec le soleil, on en voit sortir deux faisceaux convergents, dont les foyers sont au delà du biprisme et qui vont porter sur le tableau, l'un, l'image de la partie supérieure de l'objet, et l'autre, l'image de la partie inférieure, de sorte que, en arrêtant l'un des faisceaux, on fait disparaître une moitié de l'image. De plus, les deux moitiés de l'image sont séparées par une bande

Fig. 2.



grise parallèle aux faces hypoténuses des deux prismes qui arrêtent la lumière.

Une pareille disposition est inadmissible : aussi n'est-elle pas normale. Elle a en outre l'inconvénient de restreindre le champ, car une lentille ne peut projeter qu'un objet de même grandeur qu'elle-même, et ici l'objet à projeter a $0^m,08$ de diamètre, tandis que les lentilles n'en ont que $0^m,045$. Il faut donc agrandir le champ à l'aide d'une nouvelle lentille de grande ouverture, placée devant l'objet, qui servira en même temps de lentille éclairante. Prenons pour cela une de nos lentilles ordinaires, qui ont $0^m,33$ de foyer et $0^m,09$ d'ouverture. Placée à $0^m,02$ en avant de l'objet, elle sera à peu près à $0^m,165$ de la première lentille de projection, et alors voici ce que deviendra le faisceau lumineux lorsque l'appareil sera exposé au soleil. Il sortira de la lentille éclairante un cône de $0^m,09$ de diamètre, qui éclairera l'objet sur un cercle de $0^m,084$ et la première lentille de projection sur un cercle de $0^m,045$, c'est-à-

dire sur toute sa surface. La première lentille augmentant la convergence de ce cône, la seconde ne recevra plus qu'un cercle de $0^m,024$; son diamètre pourrait donc être réduit de près de la moitié. Enfin cette lentille augmentera encore la convergence des rayons, qui iront se rencontrer derrière elle, à une distance de $0^m,05$ seulement, sur un cercle qui n'a pas $0^m,002$ de diamètre.

Ce raccourcissement du foyer a pour résultat de faire pénétrer seulement la pointe du cône lumineux dans le biprisme; il arrive alors que ce faisceau tombe très-inégalement sur les deux prismes, soit que leur hypoténuse commune soit en dehors de l'axe, tout en lui étant parallèle, soit que l'axe optique du système ne soit pas dirigé exactement vers le centre du Soleil. On a bien encore deux images, mais l'une est beaucoup plus pâle que l'autre; en général elles se raccordent mal, et il faut, pour les régler, faire légèrement basculer l'un des prismes à l'aide d'un bouton de rappel que l'on voit, dans la figure, sur le côté du tube porte-prismes.

Au soleil, les résultats sont bien meilleurs avec un seul prisme réflecteur, soit qu'il soit porté sur un pied isolé, soit qu'il soit monté dans un tube qui se visse sur l'appareil à projection. Dans ce cas, l'angle droit du prisme est abattu sur à peu près le tiers de la hauteur (*fig.* 2) et l'axe optique du système passe par le milieu des côtés restants (*fig.* 1).

C'est avec un seul prisme que M. Duboscq avait d'abord construit l'appareil redresseur; mais, comme il le destinait surtout aux projections à la lampe, il a cru reconnaître qu'il gagnait de la lumière en employant deux prismes. La théorie est toujours la même, mais il est impossible de la préciser aussi bien qu'avec le soleil, parce que les pinceaux lumineux qui forment les images sont moins déliés et les foyers moins précis.

Je me suis étendu un peu longuement sur cet appareil, parce qu'il a été pour moi l'objet d'une étude intéressante sur un cas particulier de l'art difficile des projections.

De l'action des différentes lumières colorées sur une couche de bromure d'argent imprégnée de diverses matières colorantes organiques; par M. Ch. Cros.

Je m'occupe depuis longtemps de chercher des couches photographiques sensibles aux rayons de toutes couleurs, surtout aux rayons orangés, verts et violets. Pour obtenir ces différents rayons, j'ai employé des cuves transparentes pleines de solutions salines colorées, qui tamisent la lumière composée.

La couche est constituée par un collodion contenant 3 pour 100 de bromure de cadmium, et on la plonge dans un bain de 100 parties d'eau et de 20 de nitrate d'argent. On lave soigneusement la couche, et, pour détruire les dernières traces de nitrate d'argent, on la fait tremper dans une solution de bromure de potassium (eau, 100; bromure, 3). On lave encore, de manière à enlever tout ce dernier sel. A cet état, la couche, qui ne contient plus aucun sel soluble, peut être imprégnée des substances organiques les plus délicates, sans que, à l'abri de la lumière, il se passe de réaction perturbatrice.

Les substances colorantes que j'ai essayées sont des teintures alcooliques ou aqueuses. Elles ont été choisies parmi les plus instables, les plus *mauvais teint.*

Les teintures alcooliques sont versées sur la couche préparée comme je viens de dire. On attend quelques instants en faisant courir le liquide sur la plaque, afin de donner le temps à la matière colorante de s'attacher à la couche; puis on lave à l'eau pour enlever l'alcool. Ce résultat est atteint quand la plaque ne *graisse* plus.

Les teintures aqueuses, versées de même, n'exigent pas de lavage subséquent; on met à poser sans autre opération.

Dans les deux cas, les résultats les plus remarquables ont été obtenus avec des substances qui *teignent* l'espèce de feutre produit par le collodion.

Enfin, on développe l'image par toute espèce de procédé applicable au collodion sec, ou bien on immerge la plaque impressionnée dans un bain de nitrate d'argent à 7 pour 100 et l'on développe au fer.

Voici les substances qui ont été essayées :

1° La teinture alcoolique de *chlorophylle* (obtenue des feuilles de lierre, de fusain, de fougère, de chou, etc.);

2° La teinture de fruits de *cassis* dans l'eau-de-vie;

3° La teinture de *mauve* (fleurs) dans l'eau froide, l'eau chaude détruisant la matière colorante;

4° La teinture alcoolique de *carthamine;*

5° La teinture alcoolique de *curcuma;*

6° L'hémoglobine, ou teinture aqueuse de caillots de sang de bœuf.

A travers une cuve contenant une solution orangée de chlorure de cobalt additionné de bichromate de potasse, solution qui arrête les rayons bleus et ne laisse passer que la lumière orangée, on obtient une image avec des plaques soit chlorophyllées, soit teintes au cassis, soit teintes à la mauve, soit enfin teintes au curcuma.

Si le modèle consiste en trois bouteilles contenant des liquides jaune, rouge et bleu, l'épreuve positive ainsi obtenue donnera, pour les liquides jaune et rouge, l'apparence de l'eau pure, pour le liquide bleu, l'apparence d'un liquide noir.

A travers une cuve contenant une dissolution verte (nitrate de nickel à saturation), la carthamine, l'hémoglobine et le curcuma ont donné des images où le liquide rouge (dans le positif) paraissait noir et les liquides jaune et bleu restaient incolores. Cet effet résulte de ce que la dissolution de nickel arrête les rayons rouges.

A travers une cuve pleine d'une solution bleu violet de sulfate de cuivre ammoniacal, dissolution qui arrête les rayons jaunes, le curcuma a été seul essayé, et il a donné de très-belles images positives où le liquide jaune seul paraissait noir, tandis que les liquides rouge et bleu avaient l'apparence incolore.

Toutes ces expériences ont été faites avec des couches photographiques au bromure d'argent pur. Je dois ajouter que j'ai fait, il y a quelques années, des expériences analogues avec l'iodure d'argent, également lavé, et que ce dernier composé s'est comporté d'une manière tout à fait comparable au bromure.

Après avoir pris connaissance des résultats précédents, M. Desains m'a engagé à étudier au point de vue spectroscopique les substances ci-dessus mentionnées.

En opérant alors ensemble, nous avons reconnu que, sur des plaques sensibilisées avec la teinture de mauve ou celle de cassis, le spectre direct de la lampe Drummond est inactif dans tout le vert moyen, tandis que les extrémités rouge et violette sont très-actives. Avec la carthamine, c'est, au contraire, cette partie moyenne qui est le plus active. Avec la chlorophylle, l'action se continue dans toute l'étendue du spectre visible et même un peu au delà; mais elle présente plusieurs maxima et minima nettement appréciables [1].

Nouvelle forme d'électroscope; par M. A. Guerout.

(Séance du 21 février 1879.)

Il résulte des recherches de sir W. Thomson que, dans les expériences d'électricité statique, les déperditions d'électricité ont lieu, non point par la vapeur d'eau contenue dans l'air ambiant, mais par l'humidité qui se condense sur les colonnes de verre employées comme supports isolants. Sir W. Thomson a été conduit, par suite, pour rendre ces colonnes parfaitement isolantes, à dessécher par l'acide sulfurique l'air qui les entoure immédiatement, et M. Mascart a imaginé dans ce but un flacon-support d'une forme particulière, très-commode, et qui a été décrit dans le *Bulletin des séances de la Société de Physique* (séance du 3 mai 1878).

C'est ce support isolant que nous avons utilisé pour la construction de notre électroscope à feuilles d'or. Dans cet appareil, la tige centrale du support isolant se prolonge plus que d'ordinaire au-dessus du goulot, et elle est garnie d'une douille de cuivre.

Cette douille porte à sa partie supérieure les plateaux condensateurs et latéralement une petite tige de $0^m,06$ à $0^m,07$ de longueur, servant de support aux feuilles d'or. Celles-ci se trouvent ainsi suspendues sur le côté du flacon. Ce dernier est placé au centre d'un

---

[1] Touchant l'action de la chlorophylle, *voir* le Mémoire de M. Edm. Becquerel (*Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. LXXIX, p. 185).

socle carré, et une cage de verre ou de glace percée d'un trou recouvre l'appareil, en laissant sortir seulement les plateaux condensateurs; enfin deux tiges de cuivre à boule, que l'on peut faire mouvoir en dessous du socle, sont placés de chaque côté des feuilles d'or.

Cet appareil présente beaucoup de sensibilité; il garde longtemps la charge, et son fonctionnement est toujours assuré. En outre, comme la cage de verre ne sert plus de support aux feuilles d'or et n'a d'autre but que de les protéger contre les courants d'air, on peut l'enlever facilement pour modifier la disposition de l'électroscope.

On peut, par exemple, enlever une des tiges à boule et avoir ainsi un électroscope à décharge de Gaugain, ou remplacer les deux tiges par des piles sèches pour former un électroscope de Bohnenberger. On aura ainsi plusieurs dispositions d'électroscope dans le même appareil.

SÉANCE DU 21 MARS 1879.

PRÉSIDENCE DE M. BLAVIER.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 7 mars est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. Alexis (Ferdinand-Marius), commis principal au bureau télégraphique central, à Marseille.

Grammacini (Jules), receveur du bureau télégraphique, à Marseille.

Krouchkoll, licencié ès sciences, à Paris.

Montefiore, à Paris.

M. Mascart présente une balance construite par M. Deleuil. Elle est à doubles plateaux et son fléau, en fonte de fer brute, a une résistance à la flexion suffisante pour qu'on puisse compter sur une exactitude de $0^{gr},005$, pour 10^{kgr}.

M. Cailletet expose les recherches qu'il poursuit depuis dix ans sur la compressibilité des gaz soumis à de très-hautes pressions.

M. Gariel signale à la Société une application intéressante du microphone : c'est une sonde explorateur construite par MM. Chardin et Prayer, dont les praticiens ont obtenu les meilleurs résultats.

Il décrit aussi un crayon voltaïque, imaginé par M. Bellet.

Recherches sur la compressibilité des gaz ;
par M. Louis Cailletet.

Les premières recherches sur la compressibilité des gaz datent du commencement du XVIIIe siècle. Mariotte, dès 1700, dans son *Traité du mouvement des eaux,* démontre la loi qui porte son nom en établissant que *la condensation de l'air se fait selon la portion de poids dont il est chargé.*

Depuis cette époque, un grand nombre de savants ont cherché à s'assurer par l'expérience si cette loi était rigoureuse.

Boyle, en Angleterre, avait déjà cru remarquer que l'air se comprime moins que la théorie ne l'indiquait. Musschenbroeck, Sulzer, Robison, puis Œrsted, Pouillet et Despretz reprirent l'étude de cette question. Arago et Dulong, sur l'invitation de l'Académie, déterminèrent la loi de la contraction de l'air atmosphérique jusqu'à 27^{atm}. Les volumes des gaz étaient mesurés dans un tube gradué en capacités égales, ayant $1^{m},70$ de longueur, et les forces élastiques étaient données par les hauteurs d'une colonne de mercure qui leur faisait équilibre. Les erreurs constatées ne s'élevaient pas à $\frac{1}{100}$, et ces différences n'augmentaient pas avec la pression, comme cela devait avoir lieu si elles tenaient à une déviation de la loi de Mariotte. Ils admirent donc que les écarts qu'ils avaient constatés étaient dus à des erreurs d'expérience et conclurent que l'on peut regarder la loi de la compression de l'air comme vérifiée directement jusqu'à 27^{atm}.

Les recherches de Regnault sur la compressibilité des fluides élastiques, qui resteront dans la Science comme un modèle de précision sur lequel devront se baser tous ceux qui étudieront ces

difficiles questions, ne permettent plus de regarder la loi de Mariotte que comme une *loi limite* qui n'est rigoureusement observée que quand les gaz sont infiniment dilatés, et dont ils s'écartent d'autant plus qu'on les observe dans un état de plus grande condensation.

On doit regretter que les belles recherches de Regnault n'aient pas été poussées au delà de 28^{atm}, car il serait extrêmement intéressant de savoir si les écarts s'accentuent avec la pression, et si, sous de hautes pressions, certains gaz continuent à se comprimer plus que ne l'indique la loi de Mariotte, ou si, au contraire, comme pour l'hydrogène, les rapports $\frac{\left(\frac{V^0}{V'}\right)}{\left(\frac{P'}{P^0}\right)}$ restent inférieurs à l'unité.

Malgré toutes les difficultés que présentent de semblables recherches, j'ai essayé, depuis plusieurs années, de déterminer la valeur de la compressibilité des gaz sous des pressions élevées.

Mes premières recherches [1] ont été faites en comprimant une masse constante de gaz renfermée dans une sorte de piézomètre dont le tube, gradué en capacités égales, s'élevait au-dessus du réservoir métallique sur lequel il était fixé. Au moyen d'une pompe, on comprimait de l'eau au-dessus du mercure dans lequel plongeait le réservoir du piézomètre et on le forçait à refouler le gaz dans le tube gradué. S'il était facile d'obtenir ainsi des pressions élevées, leur mesure présentait au contraire de grandes difficultés.

Dans mes premières recherches, je mesurais les pressions au moyen d'une série de manomètres Thomasset accouplés, auxquels j'avais adjoint deux manomètres en verre, sorte de thermomètres dont le réservoir subissait des réductions de volume proportionnelles à la pression développée.

J'ai pu étudier ainsi la compressibilité de l'hydrogène et de l'air; mais le mode de mesure des pressions laissait beaucoup d'incertitude, et les résultats de ces expériences n'ont été publiés qu'avec les réserves nécessaires. J'ai cherché alors s'il ne serait pas possible d'établir un manomètre à air libre, qui seul peut donner des indications précises. J'ai fait disposer sur la pente d'un coteau une

---

[1] *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. LXX, p. 1131.

série de jalons portant des repères espacés par des hauteurs verticales exactes de 1^m. Un tube en acier de 3^{mm}, rempli de mercure, porte à l'une de ses extrémités un réservoir également rempli de mercure, qu'on peut élever au niveau des repères en gravissant le coteau; la pression exercée à la partie inférieure du tube est alors mesurée par la hauteur verticale de la colonne de mercure. La hauteur dont je disposais ne pouvait guère donner que 30^{atm}, mais j'ai pu mettre à profit, dans ces derniers temps, le puits artésien en foncement à la Butte-aux-Cailles, dont la profondeur dépasse 500^m.

L'appareil que j'ai employé pour les recherches qui font l'objet de cette Note se compose d'un tube-laboratoire en acier (*fig.* 1) [1] dont la longueur est de $1^m,80$ et le diamètre intérieur 25^{mm}. Un obturateur conique en fer D sert à fermer l'appareil au moyen de l'écrou C. A la base du tube-laboratoire est fixé en E un tube en acier doux T de 250^m de longueur et disposé de telle sorte qu'il peut s'enrouler dans une hélice creusée sur la circonférence d'un gros cylindre en bois de 2^m de diamètre, qui se meut autour d'un axe vertical.

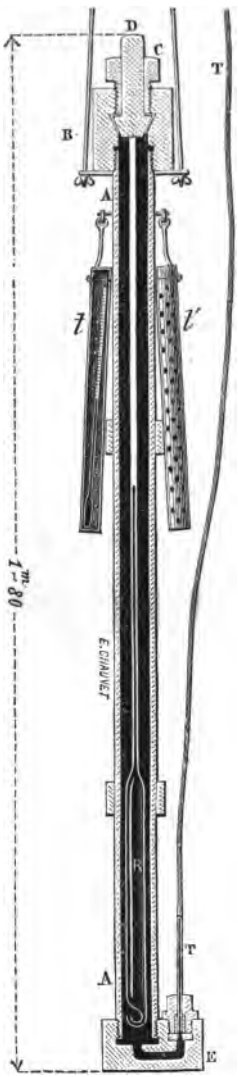
Un aide, en agissant sur des engrenages au moyen d'une manivelle, fait tourner le cylindre, et, suivant le sens du mouvement, le tube descend dans le puits ou s'enroule sur le cylindre. Pour ne pas exercer de trop fortes tractions sur le tube fin, on a suspendu le tube-laboratoire à un fil d'acier de 4^{mm} de diamètre, gradué avec une grande précision. Ce fil s'enroule sur un tambour qui reçoit son mouvement au moyen d'une manivelle actionnée par un second aide. Une poulie à double gorge, établie au niveau du sol et dans l'axe du puits, supporte ce tube et le fil de suspension au moment où ils pénètrent dans le puits. Lorsqu'on veut opérer, on doit commencer par remplir l'appareil de mercure, après avoir aspiré l'air au moyen d'une machine à faire le vide; sans cette précaution, il reste toujours de l'air qui divise la colonne de mercure et altère les résultats. On renferme alors dans le tube-laboratoire le piézomètre qui contient le gaz en expérience. Les aides agissent

---

[1] Nous devons à l'obligeance de M. G. Tissandier, rédacteur en chef du journal *la Nature*, la communication des figures ci-contre, qu'il a fait graver pour son intéressante publication.

sur les engrenages et font descendre l'appareil dans le puits, à une profondeur que l'on détermine exactement au moyen des

Fig. 1.



divisions que porte le fil de suspension; cette longueur, comptée depuis le niveau du mercure contenu dans le réservoir qui termine

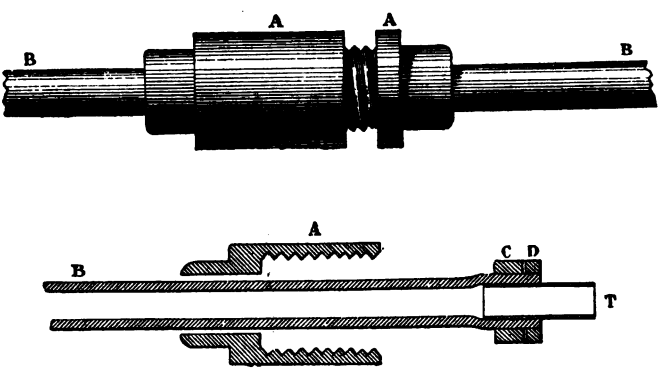
le tube, représentera la pression, estimée en millimètres de mercure, que supporte le gaz dans le piézomètre.

Il est nécessaire d'opérer lentement la descente, afin d'éviter les oscillations du mercure dans le tube calibré. Lorsque l'appareil a pris la température de l'eau, on le remonte à la surface et on note la température et la pression extérieures, ainsi que la température de la couche d'eau atteinte par l'appareil; cette température est donnée par les deux thermomètres à maxima t, t'.

Il serait difficile de connaître la hauteur à laquelle le mercure s'est élevé dans le piézomètre et de mesurer, par conséquent, le volume auquel s'est réduit le gaz, si l'on n'employait un artifice qui permet une mesure précise ; il suffit, à cet effet, de dorer légèrement l'intérieur du tube : le mercure, en s'élevant, dissout la couche d'or et laisse une trace absolument nette correspondant au niveau qu'il a atteint.

Les *fig.* 2 et 3 représentent en vraie grandeur la disposition

Fig. 2.



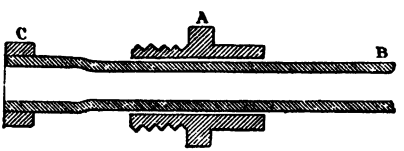
que j'ai adoptée pour relier entre elles les diverses parties de mon tube d'acier. BB est le tube contenant le mercure; des rondelles en fer CC sont soudées aux extrémités du tube et peuvent être serrées l'une contre l'autre au moyen des manchons à vis AA. Grâce à une rondelle de cuir D interposée, le joint est absolument étanche et peut résister à de très-hautes pressions malgré le mouvement et les torsions que subit le tube. Afin d'éviter que le cuir ne vienne obstruer l'orifice du tube, on a placé dans l'ex-

trémité dilatée un petit manchon T, qui empêche absolument l'obstruction.

Voici quelles corrections ont été apportées aux résultats des expériences.

La température de la colonne de mercure contenue dans le tube fin a été divisée en trois parties : 1° la partie située hors du puits, qui subit la température extérieure; 2° la longueur du tube occupant l'espace compris entre l'orifice du puits et le niveau de l'eau; 3° la partie plongée dans l'eau, et subdivisée elle-même en colonnes de 5^m. Par des expériences préliminaires, j'avais étudié la température du puits au moyen de thermomètres à maxima,

Fig. 3.



donnant le vingtième de degré et enfermés dans des enveloppes de verre épais. La température du mercure contenu dans l'ensemble du tube a été ramenée à zéro. On n'a pas tenu compte de la compressibilité du mercure.

Quant à l'allongement du fil de suspension, il a été calculé d'après les formules en usage, puis vérifié directement sur une longueur de fil de 10^m. Afin d'atténuer les erreurs résultant de la réduction qu'aurait subie une masse de gaz constante en supportant des pressions de plus en plus élevées, on a employé successivement trois piézomètres dont les réservoirs présentaient des volumes de plus en plus grands. Ces trois appareils, dont les tubes étaient gradués avec grand soin, avaient été étudiés de manière à rendre leurs indications comparables entre elles.

Au moyen de la formule ci-contre on a calculé les nombres PV qui figurent dans le Tableau :

$$PV = V[L + H + mV - (R + r)],$$

V étant le nombre des divisions restées dorées;

L la longueur du fil déroulé depuis le niveau du mercure dans le réservoir supérieur;

H la pression barométrique;

m la longueur en millimètres d'une division du tube doré;

R la distance du repère supérieur AB au niveau du mercure dans le réservoir supérieur;

r la distance de la demi-division du fil de suspension déroulé, la plus voisine du repère inférieur.

Azote à + 15°,0.

Pressions.	Volumes.	PV.	Température du gaz.
m			°
39,359	207,93	8184	+15,0
44,264	184,20	8153	15,1
49,271	162,82	8022	15,1
49,566	161,85	8022	14,9
59,462	132,86	7900	15,0
64,366	123,53	7951	15,0
69,367	115,50	8011	15,0
74,330	108,86	8091	15,1
79,234	103,00	8162	15,1
84,388	97,97	8267	15,2
89,231	93,28	8323	15,2
99,188	86,06	8536	15,4
109,199	77,70	8484	15,6
114,119	76,69	8751	15,7
124,122	71,36	8857	16,0
144,241	62,16	8966	16,3
149,205	59,70	8907	16,5
154,224	58,18	8973	16,6
164,145	54,97	9023	16,8
174,100	52,79	9191	17,0
181,985	51,27	9330	17,2

Les expériences que je viens de rapporter ont été faites avec le concours d'un jeune professeur attaché au laboratoire des Hautes Études, M. Bonnefoy, et de M. Forquignon, ingénieur civil des Mines, qui ont bien voulu m'aider dans ces recherches longues et difficiles.

Sonde microphonique; de MM. Chardin et Prayer.

Le téléphone et le microphone ont été, dès leur invention, proposés pour l'étude des bruits de la circulation et de la respiration : ils ne semblent pas avoir donné les résultats que l'on avait espérés, non qu'ils ne puissent faire entendre ces bruits, mais parce que, au contraire, ils les amplifient tous indistinctement et ne permettent pas facilement d'en étudier spécialement un. Bien que, à cet égard, sans doute le dernier mot n'ait pas été dit, il semble qu'on ait renoncé provisoirement à ces applications; mais, par contre, la Chirurgie a pu utiliser ces appareils avec succès pour reconnaître l'existence de corps durs au milieu des parties molles de l'organisme, des pierres dans la vessie, des projectiles dans les blessures par armes à feu, etc. La sonde microphonique de MM. Chardin et Prayer est destinée à satisfaire à ces indications. Elle consiste en une sonde rigide de forme variable que l'on introduit dans la blessure ou dans la plaie, et dont l'extrémité libre est terminée par une poignée creuse contenant un microphone; celui-ci fait partie d'un circuit contenant une pile et un téléphone. Toutes les fois que la sonde rencontrera un corps dur, la résistance transmise au microphone produira dans le téléphone un bruit distinct, perceptible à l'oreille, dont l'existence est caractéristique.

L'appareil paraît bien compris pratiquement; la sonde est suffisamment légère et bien à la main, la pile est portée en bandoulière par l'opérateur, le circuit est constitué par des fils flexibles qui ne gênent pas le maniement de l'instrument.

Crayon voltaïque de MM. Bellet et H. d'Arroz.

Les inventeurs, s'appuyant sur l'action des étincelles électriques, se sont proposé de trouver un moyen permettant la reproduction directe ou indirecte de l'écriture, du dessin, etc., en un mot, d'arriver à un système d'*autographie,* le mot étant pris dans son véritable sens.

Lorsqu'une étincelle éclate entre deux conducteurs à travers une feuille de papier, celui-ci est perforé. Le déplacement des conducteurs, joint à la multiplicité des étincelles, permettra de découper dans le papier des traits dont l'ensemble représentera les lettres, chiffres, dessins à reproduire; cette découpure pourra évidemment servir de *poncis* et être utilisée suivant les procédés ordinaires du dessin industriel. Dans la pratique, l'application de cette méthode a présenté des difficultés lorsque l'on a cherché à réaliser les conditions théoriques de la manière suivante. La feuille de papier à découper était placée sur une lame métallique communiquant avec une extrémité du fil induit d'une bobine dont l'autre extrémité aboutissait à un conducteur terminé par une pointe et tenue par l'opérateur. En approchant cette pointe du papier, l'étincelle jaillissait et perçait celui-ci; mais, d'une part, cette étincelle donnait une secousse désagréable et nuisible à la netteté du trait, et, d'autre part, cette étincelle était multiple en réalité et la multiplicité des perforations empêchait également d'obtenir autre chose qu'un trait vague et mal défini.

On a pu lever ces difficultés par l'emploi d'un papier spécial obtenu par l'immersion dans une dissolution de sel et par des modifications apportées à la construction de la bobine : la substitution au trembleur ordinaire d'un interrupteur formé par un ressort fixé à ses deux extrémités, et l'établissement d'une dérivation qui, en modifiant l'étincelle, évite les secousses à l'opérateur et supprime les perforations multiples.

Le conducteur employé est un simple crayon dont la mine est en communication avec la bobine d'induction. L'appareil est installé sur un pupitre, à l'intérieur duquel sont placés les accessoires destinés à la reproduction du dessin : encre d'imprimerie, rouleau. La bobine, qui est fixée à la partie supérieure de ce pupitre, est actionnée par une pile au bichromate de potasse, dont le zinc peut se relever à l'aide d'une crémaillère.

Le poncis peut servir directement à la reproduction lorsque le nombre des exemplaires ne doit pas être trop considérable; il peut être employé à faire un report sur pierre pour un tirage lithographique ou à obtenir un cliché pour tirage typographique, etc.

Indépendamment des applications pratiques, cet appareil présente un réel intérêt pour les modifications qui ont été apportées

à la bobine, modifications qui pourront peut-être être utilisées dans d'autres circonstances.

SÉANCE DU 4 AVRIL 1879.

PRÉSIDENCE DE M. MASCART.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 21 mars est lu et adopté.

Est élu membre de la Société :

M. Bellot (Jules), manufacturier, à Loches (Indre-et-Loire).

M. Marcel Deprez présente un nouvel appareil magnéto-électrique réversible, qu'il fait fonctionner soit comme moteur, soit comme source d'électricité. Cet appareil se fait remarquer par sa faible masse et par la régularité de son mouvement; il peut être employé pour produire le synchronisme de deux mouvements de rotation ou d'un mouvement de rotation et d'un mouvement vibratoire.

M. Bouty emploie un thermomètre à réservoir argenté comme électrode négative dans la décomposition d'un sel métallique. Le métal, en se déposant, exerce sur le réservoir du thermomètre une action mécanique d'où résulte en général une diminution de volume et une ascension de la colonne mercurielle.

Quand on enlève le dépôt métallique, le thermomètre reprend son indication normale.

La cause de la contraction observée est une diminution de volume éprouvée par le métal qui se dépose. M. Bouty donne une formule qui représente très-exactement le résultat de ses expériences et en déduit pour le coefficient de compressibilité du cuivre un nombre voisin de celui qui a été mesuré par M. Regnault.

Le nickel poreux absorbe de l'hydrogène, comme l'a montré M. Raoult, quand on l'emploie comme électrode négative dans la décomposition de l'eau acidulée; un thermomètre contracté par un dépôt de nickel se rapproche, dans ces conditions, de son indica-

tion normale, pour se contracter de nouveau quand l'hydrogène se dégage.

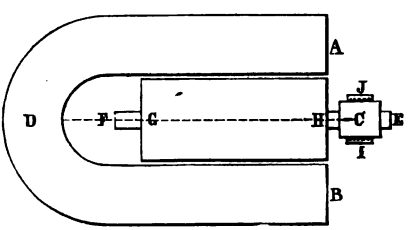
M. Henri Becquerel expose la suite de ses recherches sur le pouvoir rotatoire magnétique des gaz.

M. Gariel décrit sommairement et fait fonctionner la machine parlante de M. Faber.

Machine magnéto-électrique; par M. Marcel Deprez.

Lorsqu'on examine la disposition adoptée dans toutes les machines magnéto-électriques dans lesquelles on emploie des aimants permanents, on est frappé de ce fait que la puissance inductrice des extrémités polaires est seule utilisée, probablement parce que l'on a pensé que la présence des masses magnétiques ou des circuits mobiles placés devant les pôles diminue considérablement l'effet inducteur disponible des autres portions de l'aimant. Des

Fig. 1.



expériences fort simples m'ayant montré l'inexactitude de cette manière de voir, j'ai construit une machine magnéto-électrique dont les organes sont disposés de la manière suivante : ADB est un aimant permanent en fer à cheval, entre les branches duquel se trouve une bobine Siemens FGHE, mobile autour de l'axe FE et munie d'un simple commutateur à renversement de pôles C, contre lequel frottent deux balais I et J qui servent à recueillir et redresser le courant. La longueur de la bobine Siemens est presque égale à celle des parties rectilignes des branches de l'aimant, de façon à utiliser toute la puissance inductrice de ces branches. La

bobine reçoit autour de son axe FE un mouvement de rotation rapide transmis par un pignon ou une poulie de petit diamètre.

Il est facile de voir que cette disposition remplit toutes les conditions exigées pour obtenir le maximum de rendement. On en jugera d'ailleurs par les résultats obtenus. Le premier modèle réalisé avait les dimensions suivantes :

Longueur de l'aimant en fer à cheval, mesurée depuis les faces polaires jusqu'au sommet de la partie courbe	145^{mm}
Écart intérieur des branches	33
Épaisseur du faisceau	25
Poids de l'aimant	$1^{kg},70$
Diamètre de la bobine Siemens	32^{mm}
Longueur de l'âme en fer	60
Poids total de l'appareil	$2^{kg},85$

La force électromotrice, variable avec la vitesse, équivaut, à la vitesse normale, à un peu plus de 5^{volts}. Cette petite machine permet de produire tous les effets que l'on obtient dans la pratique ordinaire avec 3 éléments de Bunsen. Elle est réversible et constitue un excellent moteur de laboratoire. Elle est munie en outre du régulateur de vitesse que j'ai décrit dans le *Bulletin des séances de la Société de Physique* (séance du 16 août 1878), et qui lui assure une vitesse absolument constante. Voici les résultats que ce moteur m'a donnés avec une pile Bunsen composée d'un nombre d'éléments variant de 1 à 8 :

Nombre d'éléments.	Travail moteur développé en kilogrammètres par seconde [1].
1	0,04
2	0,20
3	0,45
4	0,75
5	1,10
8	1,80

[1] Ces résultats sont représentés avec une exactitude tout à fait suffisante par la formule

$$T = 0,27N - 0,34,$$

dans laquelle N désigne le nombre d'éléments et T le nombre de kilogrammètres par seconde.

Ce petit moteur développe donc un travail supérieur à 1^{kgm} par seconde avec une pile de 5 bunsens. Je n'ai pu dépasser ce résultat avec une machine Gramme munie d'un puissant aimant permanent, pesant au moins 30^{kg}.

Pouvoir rotatoire magnétique des gaz;
par M. Henri Becquerel (1).

Depuis le jour où Faraday a découvert le phénomène de la polarisation rotatoire magnétique, les expériences se sont considérablement multipliées, et il paraît à peu près évident aujourd'hui que tous les corps de la nature jouissent à un degré différent de la propriété de dévier dans un sens ou dans l'autre le plan de polarisation de la lumière qui les traverse, lorsqu'ils sont soumis à une action magnétique suffisamment énergique. Cependant l'expérience n'avait pu jusqu'ici être réalisée avec les gaz, dont l'étude présente à ce point de vue une importance particulière; l'incertitude où l'on était sur la grandeur de la rotation à observer n'avait pas permis de diriger les expériences de manière à voir le phénomène.

Les recherches que je poursuis depuis plusieurs années sur cette question m'avaient conduit à des renseignements assez précis sur la grandeur des phénomènes à observer. En m'aidant de ces données, j'ai pu manifester expérimentalement et mesurer la rotation magnétique de divers gaz et des vapeurs à la température et à la pression ordinaires.

Parmi les résultats qui se déduisent de mes recherches antérieures (2), il convient de rappeler ici le suivant :

La rotation magnétique positive (3) R que subit un rayon

---

(1) *Voir* une première Note, *Comptes rendus*, t. LXXXVIII, p. 709; mars 1879.

(2) *Annales de Chimie et de Physique*, t. XII, 5e série, 1877, et *Comptes rendus*, t. LXXXV, p. 1227.

(3) On appelle *rotations positives* les rotations de même sens que celles de l'eau, du sulfure de carbone, etc. Les rotations inverses ou négatives donnent lieu à d'autres phénomènes. (*Voir* les Mémoires cités plus haut.)

lumineux de longueur d'onde déterminée, traversant l'unité d'épaisseur d'une substance diamagnétique soumise à une influence magnétique constante, est sensiblement proportionnelle à la fonction $n^2(n^2-1)$ de l'indice de réfraction n correspondant. Le quotient $\frac{R}{n^2(n^2-1)}$ est un nombre qui varie peu pour les diverses substances et qui est constant pour les corps d'une même famille chimique, qu'il peut ainsi servir à caractériser.

Cette relation entre la rotation magnétique et l'indice de réfraction a été vérifiée pour un grand nombre de corps solides et liquides. Il était à présumer qu'elle subsisterait encore pour les substances à l'état gazeux. Dès lors, en faisant une hypothèse probable sur la valeur du rapport $\frac{R}{n^2(n^2-1)}$ et connaissant d'autre part l'indice de réfraction n, on pouvait prévoir approximativement la grandeur de la rotation R; l'expérience jusqu'ici semble justifier ces considérations.

L'appareil qui m'a servi pour étudier les propriétés rotatoires magnétiques des gaz se compose essentiellement d'un tube en cuivre de $0^m,12$ de diamètre intérieur et de 3^m de long, qui peut être fermé par des glaces parallèles travaillées avec le plus grand soin. Ce tube est monté horizontalement sur une poutre qui sert également à fixer le système optique. Six grosses bobines de $0^m,50$ de long peuvent se glisser autour du tube. Chacune d'elles contient environ 15^{kg} de fil de cuivre de 3^{mm} de diamètre. L'action magnétique est obtenue en faisant passer dans ces bobines le courant électrique donné par quatre-vingts éléments à acide azotique. Une boussole des sinus, placée en dérivation dans le circuit, mesure à chaque instant l'intensité du courant et permet de ramener les résultats à la même intensité magnétique.

Les rayons lumineux sont donnés par un chalumeau à gaz oxyhydrique; ils sont polarisés par un très-gros polariseur à pénombres, traversent le tube, à chaque extrémité duquel ils rencontrent deux miroirs plans en verre argenté, qui, par des réflexions successives, leur font traverser de nouveau plusieurs fois la longueur du tube, puis ils sont reçus sur un analyseur monté sur un cercle gradué et muni d'une très-forte lunette.

Dans des expériences plus récentes, j'ai fait disposer en avant

de l'analyseur un système de piles de glaces amplificatrices, construites sur les données de M. Fizeau.

Les diverses pièces que nous venons de décrire sont suffisamment éloignées des bobines pour ne subir aucune action magnétique appréciable.

Le réglage du système optique constitue l'un des points les plus délicats de l'expérience. On peut obtenir un grand nombre de réflexions successives; mais, pour avoir des mesures suffisamment nettes, j'ai dû m'arrêter provisoirement à la quatrième image réfléchie, qui correspond à neuf fois la longueur du tube, soit environ 27^m de gaz traversé. Dans ces conditions, la netteté et la sensibilité du polarimètre à pénombres sont telles, que l'on peut estimer une rotation de 1′ (¹).

La lumière blanche donnée par la chaux incandescente du chalumeau à gaz oxyhydrique n'est pas monochromatique, et même avec les faibles rotations obtenues les images peuvent se teinter légèrement. La rotation observée avec la lumière blanche ne correspond pas à celle de la lumière jaune de la raie D, qui a servi de type dans les comparaisons. Des expériences spéciales ont déterminé les rapports des rotations magnétiques obtenues pour le sulfure de carbone liquide avec les rayons jaunes D, avec la lumière blanche du chalumeau à gaz oxyhydrique, et avec la même lumière transmise à travers divers écrans colorés dont nous avons fait usage. Dans certains cas nous avons employé directement, comme source de lumière monochromatique, la vapeur incandescente du chlorure de sodium placé dans la flamme du chalumeau à gaz oxyhydrique.

La nécessité de fermer le tube par des glaces introduit une correction, due à l'action qu'exercent sur la lumière polarisée ces glaces soumises à une faible action magnétique, mais traversées un grand nombre de fois par les rayons lumineux. Pour déterminer la valeur de cette correction on a opéré de deux manières : 1° en vissant les glaces à poste fixe et en faisant le vide dans le tube; on pouvait craindre alors que les flexions et compressions dues à la pression d'environ 40^{kg}, supportée dans ce cas par chaque

(¹) Cet appareil a été construit avec le plus grand soin par M. J. Duboscq; les bobines ont été disposées par M. J. Carpentier.

glace, fissent varier leur pouvoir rotatoire magnétique d'une quantité comparable à celles que l'on voulait mesurer; 2° en mesurant la rotation obtenue avec l'appareil plein d'air, sans les glaces, en vissant ensuite celles-ci, le tube étant plein d'air, et en mesurant la nouvelle rotation magnétique. La différence obtenue donne la correction due aux glaces.

Enfin on a comparé les mesures à la rotation magnétique du sulfure de carbone liquide à la température de 15° en promenant dans le tube un tube plus petit, de $0^m,50$ de long, plein de sulfure de carbone, et en prenant la somme des effets observés dans les diverses positions en regard de chaque bobine.

Au moyen de cet appareil, en faisant passer dans les bobines un courant électrique très-intense, puis en renversant le sens de ce courant, on constate une rotation du plan de polarisation, et cette rotation est inégale pour les diverses couleurs. Lorsque les glaces sont enlevées et que le tube est plein d'air, cette rotation est due uniquement à l'action exercée par le courant électrique sur la colonne d'air. On s'assure de ce fait en observant que l'action est inégale sur les diverses images réfléchies, et inappréciable pour la première, ce qui prouve qu'elle est d'autant plus forte que la colonne gazeuse traversée par la lumière est plus longue.

La moyenne de plusieurs séries concordantes a donné pour l'air du laboratoire, à la température de 30° C. et à la pression de $762^{mm},2$, en observant la quatrième image réfléchie (27^m de gaz), les nombres suivants, que je cite provisoirement, pour montrer seulement la grandeur du phénomène (¹) :

Lumière	jaune D.....	4',98
»	blanche.....	5,29
»	verre vert n° 1....	7,50

Dans les mêmes conditions d'intensité magnétique, le tube plein de sulfure de carbone liquide aurait donné pour la lumière jaune D et la quatrième image réfléchie une rotation magnétique double de 646°20' ou 38780'. Le pouvoir rotatoire magnétique de l'air

(¹) On a donné les nombres avec les centièmes de minute, tels qu'ils résultent du calcul des moyennes. Les erreurs d'expériences peuvent affecter les dixièmes de minute.

rapporté à celui du sulfure de carbone pris pour unité serait donc, dans les conditions de l'expérience précédente, environ

$$R = \frac{4',98}{38780} = 0,000128.$$

Si l'on prend l'indice de réfraction de l'air donné par Dulong, $n = 1,000294$, on trouve

$$\frac{R}{n^2(n^2-1)} = 0,213,$$

rapport très-voisin de ceux que j'avais trouvés pour un grand nombre de corps solides et liquides.

La vapeur de sulfure de carbone mélangée à l'air, à la température de 28°,6, et à une tension voisine de $416^{mm},6$, tension maximum à cette température, la pression du mélange étant $767^{mm},2$, a donné pour la troisième image réfléchie, ou 21^{m} de gaz traversé par la lumière, une rotation magnétique double qui, diminuée de celle de l'air et corrigée de l'action des glaces, a été trouvée de 12',45. Dans les mêmes conditions magnétiques, le sulfure de carbone liquide aurait donné pour la troisième image et les mêmes rayons lumineux environ 32152'.

Les nombres précédents peuvent servir à une comparaison intéressante; si l'on admet que pour un même volume de vapeur saturée, dans des limites étroites de température et de pression, les rotations soient proportionnelles aux pressions, on trouve qu'à la pression de 760^{mm} la vapeur de sulfure de carbone saturée donnerait 22',7, ce qui correspondrait à un pouvoir rotatoire égal à 0,000706. En prenant l'indice de réfraction donné par Dulong, $n = 1,0015$, on trouverait

$$\frac{R}{n^2(n^2-1)} = 0,234$$

pour la vapeur de sulfure de carbone à 760^{mm} de pression. Or on avait trouvé précédemment pour le sulfure de carbone liquide le nombre presque identique

$$\frac{R}{n^2(n^2-1)} = 0,231.$$

Pour la vapeur de sulfure de carbone, de même que pour l'air, on a mesuré les rotations magnétiques inégales des rayons de diverses couleurs.

Le gaz d'éclairage a manifesté un pouvoir rotatoire magnétique voisin de 0,0002, intermédiaire entre les nombres qui correspondraient théoriquement au gaz des marais et au gaz oléfiant.

Les nombres précédents, bien qu'ils soient déduits de rotations très-faibles, présentent une vérification remarquable des considérations qui m'ont guidé dans ces recherches, savoir : la constance du rapport $\frac{R}{n^2(n^2-1)}$ pour le même corps ou pour les corps d'une même famille chimique.

Dans la présente Note j'ai principalement voulu faire ressortir ce dernier point; quant aux nombres eux-mêmes, ils pourront être légèrement modifiés par mes recherches ultérieures.

J'ai trouvé également des résultats très-intéressants avec divers gaz, notamment avec l'oxygène, mais je crois devoir attendre, pour publier ces nombres, qu'ils soient contrôlés par les moyens d'amplification dont je dispose maintenant, et qui me conduiront, je l'espère, à une approximation plus grande dans les mesures.

Machine parlante de M. Faber; par M. Gariel.

M. Faber s'est proposé de construire une machine réellement parlante, c'est-à-dire produisant les sons et les articulations, et, pour arriver à ce résultat, il a imité, au moins d'une manière générale, les organes de la phonation.

La machine se compose essentiellement de trois parties :

1° La soufflerie;

2° L'appareil producteur du son;

3° L'appareil articulant.

1° Nous n'avons rien de particulier à dire de la soufflerie, qui est destinée à envoyer un courant d'air dans le larynx.

2° L'appareil producteur du son, le *larynx,* est une anche en ivoire dont on peut faire varier dans une certaine limite la lon-

gueur, de manière à changer la hauteur du son produit. On peut regretter que M. Faber n'ait pas cherché à employer un système d'anches membraneuses qui rapprocherait davantage la machine de la réalité.

3° L'appareil articulant comprend une partie destinée à produire les voyelles et une partie pour la production des consonnes. Les voyelles sont dues au passage de l'air à travers des ouvertures de diverses formes pratiquées dans des diaphragmes qui viennent successivement se placer sur le passage du courant d'air sous l'action de leviers mus par des touches; de plus, une cavité spéciale, qui peut être mise en communication avec la précédente, est destinée à produire les sons nasaux : la communication se produit à volonté par un levier spécial. Les consonnes sont dues à l'action de pièces dont le fonctionnement est très-analogue à celui des lèvres, des dents et de la langue. Un moulinet spécial produit le ronflement de l'R. Toutes ces pièces et tous ces organes sont mis en mouvement par quatorze touches qui sont très-ingénieusement disposées, de manière à faire agir avec l'intensité convenable et dans l'ordre nécessaire les organes destinés à produire une syllabe. Le nombre de quatorze touches est suffisant, parce que, à l'aide de touches accessoires, on peut faire varier le caractère d'une consonne du fort au faible, etc.

La parole de la machine est nécessairement monotone; ajoutons qu'elle n'est pas parfaite : certains sons produisent un meilleur effet que d'autres; cependant, en général, on comprend les mots et les phrases prononcés. Certes, on ne peut penser à comparer les sons ainsi produits avec les intonations si variées de la voix humaine; cette machine, indépendamment des perfectionnements qu'elle pourra recevoir, n'en est pas moins intéressante, en ce qu'elle montre nettement le mécanisme de la phonation, qui a pu être reproduite ainsi artificiellement et, par conséquent, obéit absolument aux lois de l'Acoustique.

SÉANCE DU 16 AVRIL 1879.

(Séance de Pâques.)

PRÉSIDENCE DE M. MASCART.

La séance est ouverte à 8 heures.

Cette séance est consacrée à la répétition des expériences nouvelles faites à la Société dans le courant de l'année. Les expériences et appareils dont la liste est donnée ci-après avaient été disposés d'avance. Les auteurs ont donné les explications qui leur étaient demandées.

Supports isolants, par M. Mascart.
Galvanomètres de force électromotrice et d'intensité, par M. Gaiffe.
Lampe électrique à incandescence fonctionnant à l'air libre, par M. Reynier.
Appareil électro-médical à régulateur des intermittences. Moteur à force constante, par M. Trouvé.
Support universel ou électro-diapason permettant d'inscrire et montrer en projection les mouvements vibratoires, par M. A. Duboscq.
Spectres magnétiques; Figures stroboscopiques, présentés par M. Thompson.
Machine électrique, par M. Teploff.
Machine de Holtz à quatre plateaux de 1m de diamètre. Appareil Schwedoff pour l'étude des mouvements vibratoires des cordes, présenté par M. Ducretet.
Microtasimètre d'Edison; Bobine d'induction à étouffoir, présentés par M. Carpentier.
Application des foyers calorifiques aux fers à souder, par M. Paquelin.
Pile thermo-électrique de Noé, disposée par M. Hauck.
Propriété dépolarisante des dissolutions métalliques, par M. Lippmann.
Nouveau régulateur de vitesse; Moteur électromagnétique; Machine magnéto-électrique, par M. Marcel Deprez.
Téléphone de M. Righi.
Différentes formes d'appareils de rotation électromagnétique et déplacement des frotteurs dans la machine Gramme, par M. A. Breguet.
Appareil destiné à effectuer la synthèse des couleurs composées, par M. Pellat.
Phénomène nouveau d'électricité statique, par M. Duter.
Électrophone, par M. Bourseul.
Gyroscope marin de M. E. Dubois; Appareil télégraphique imprimant de Hughes, présentés par M. Dumoulin-Froment.
Projection des expériences de M. Mayer servant à figurer l'hypothèse des attractions et répulsions moléculaires; Prisme redresseur pour appareil à projection, par M. Duboscq.
Régulateur de température, par M. Benoît.
Nouveau spectroscope à vision directe et à très-grande dispersion, par M. Thollon.

Le chromomètre et la photographie des couleurs; Épreuves photographiques de spectres, par M. Cros.
Spectroscope destiné à l'observation des rayons ultra-violets, par M. Cornu.
Téléphone, par M. Gower.
Nouvelle forme d'électroscope, par M. Guerout.
Avertisseur téléphonique, par M. Perrodon.
Non-existence de la dilatation galvanique, par M. Blondlot.
Houppes des cristaux, par M. Bertin.
Balance ordinaire pour laboratoire, par M. Deleuil.
Recherches sur la compressibilité des gaz, par M. Cailletet.
Nouvelles dispositions des expériences d'Ampère ; Roue de Barlow, par M. Nodot.
Explorateur microtéléphonique, par MM. Chardin et Prayer.
Crayon voltaïque, par M. Bellet.
Appareil interférentiel à deux spaths de M. Jamin, construit par M. Lutz.
Pressions exercées par les dépôts galvaniques, par M. Bouty.
Machine parlante de M. Faber, présentée par M. Gariel.
Harmonographe de M. Tisley.
Microphones divers; Avertisseurs téléphoniques; Condensateur chantant.
Expériences d'éclairage électrique avec les lampes de M. Reynier, mises en action par les machines Gramme, construites par MM. Sautter et Lemonnier.

SÉANCE DU 2 MAI 1879.

PRÉSIDENCE DE M. JOUBERT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 4 avril est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. Daniel Stapfer, ingénieur, à Marseille.
Lalande, à Brives.

Le Secrétaire communique une Lettre de M. Rossetti, professeur à l'Université de Padoue. Ce savant cherche à déterminer, par des mesures du rayonnement émis, la température de l'arc électrique et celle des extrémités du charbon.

M. Antoine Breguet présente quelques solutions différentes d'enroulements capables de remplacer celui de M. Alteneck dans les machines magnéto-électriques.

M. Sebert résume les travaux entrepris pour déterminer la pression exercée à l'intérieur des bouches à feu par les gaz pro-

venant de la combustion de la poudre et s'attache spécialemcnt à la description et à l'usage de l'accélérographe imaginé par M. Marcel Deprez.

Lettre de M. Rossetti sur la température de l'arc voltaïque et des deux extrémités du charbon.

« Padoue, 16 avril 1879.

» Monsieur le Secrétaire général,

» J'ai l'honneur de vous adresser le résultat des recherches que je viens de faire pour déterminer la température de l'arc voltaïque et des deux extrémités du charbon au moment de la production de la lumière électrique.

» Voici ce que j'ai obtenu avec une pile de 80 éléments Bunsen de petit type :

	Rayonnement mesuré à ma boussole.	Température.
Pôle positif du charbon.....	49,7	2870° C.
» négatif »	30,0	2400° C.

» L'arc voltaïque donne un rayonnement égal à 10,3 dans une expérience et à 10,7 dans une autre, auquel correspond seulement la température de 1630° et 1672°. Mais, en suivant dans ma formule la valeur du pouvoir émissif, on aurait la température de 3500° C.

» Si on laisse tomber sur la pile le rayonnement provenant d'une surface définie, qui comprend l'arc et les deux bouts positif et négatif de charbons (la pile étant placée à une distance = 107,17 fois la surface rayonnante), on a les nombres suivants :

	Rayonnement.	Température moyenne.
Pile de 80 éléments.....	45,59	2784° C.
» 70 »	35,04	2536° C.
» 60 »	29,76	2334° C.
» 50 »	23,24	2190° C.

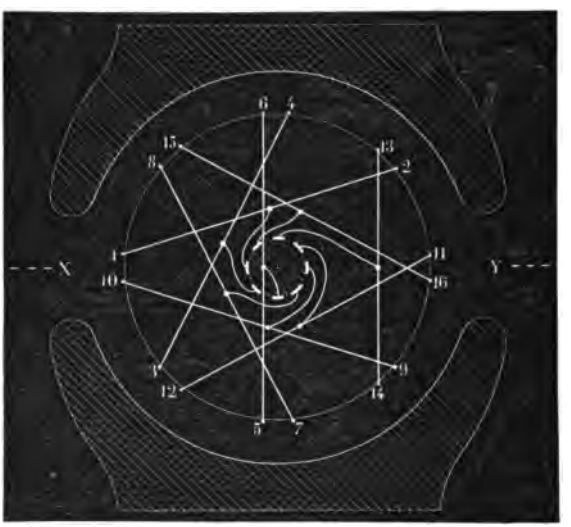
» Je me propose de continuer ces recherches.

» Je vous prie, etc., » Rossetti. »

Solutions d'enroulements électromagnétiques;
par M. Antoine Breguet.

Dans la séance du 15 novembre dernier, j'ai eu l'honneur d'exposer devant la Société quelques recherches que j'avais entreprises au sujet de la machine de Gramme. J'ai pu relier étroitement la théorie de cette importante machine à celle d'une autre du même genre, inventée par M. Hefner von Alteneck et construite par M. Siemens.

Fig. 1.



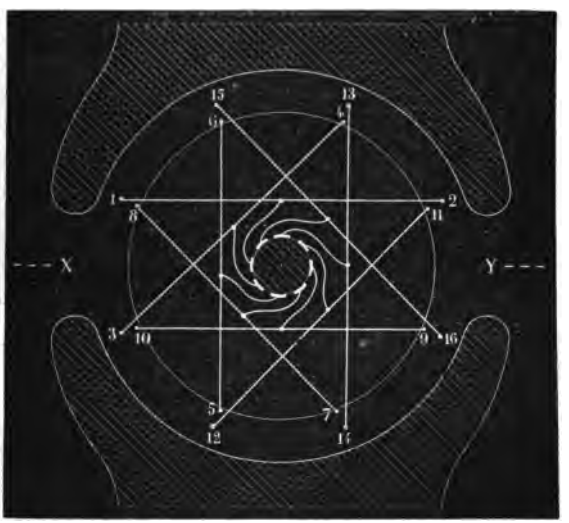
Je reviens aujourd'hui sur ce dernier appareil, afin de rectifier une erreur d'attribution d'abord, et ensuite afin de présenter quelques solutions différentes d'enroulements capables de remplacer ceux de Gramme et d'Alteneck.

L'enroulement de M. Alteneck est si compliqué, si dissymétrique, qu'il faut une grande attention pour arriver à le posséder complétement, et lorsque j'ai voulu vous l'exposer l'an passé, je ne l'avais pas assez étudié, si bien que, sans le savoir, j'ai imaginé un enroulement différent, que j'ai présenté sous le nom d'Alteneck. Il est indiqué par la *fig.* 3. Réduit à sa forme la plus

simple, il n'a que huit fils verticaux, et ses branches transversales, qui se croisent sur les bases inférieures et supérieures, sont des côtés d'octogone régulier étoilé.

Par une coïncidence singulière, un ingénieur allemand, M. Fröhlich, qui, comme moi, voulait décrire l'enroulement d'Alteneck, a, de son côté, fourni une solution qui n'est ni celle qu'il voulait donner, ni la mienne. La *fig.* 2 la représente. Sur l'une des bases se croisent

Fig. 2.



des diamètres, et sur l'autre des côtés d'octogone régulier étoilé.

Il me reste à donner la vraie solution de M. Alteneck (*fig.* 3). Sur l'une des bases se trouvent encore des côtés d'octogones régulier étoilé, et sur l'autre des cordes inégales entre elles et dissymétriques par rapport au centre.

J'ai pu trouver jusqu'à huit nouvelles solutions du même problème; j'en indiquerai seulement une, qui me semble préférable à toutes les autres. Elle est représentée *fig.* 4.

La supériorité consiste dans l'emploi d'une moindre longueur de fil pour produire les mêmes effets : on réduit par là la chaleur développée dans la bobine par le passage des courants, c'est-à-dire que l'on augmente le coefficient économique de la machine.

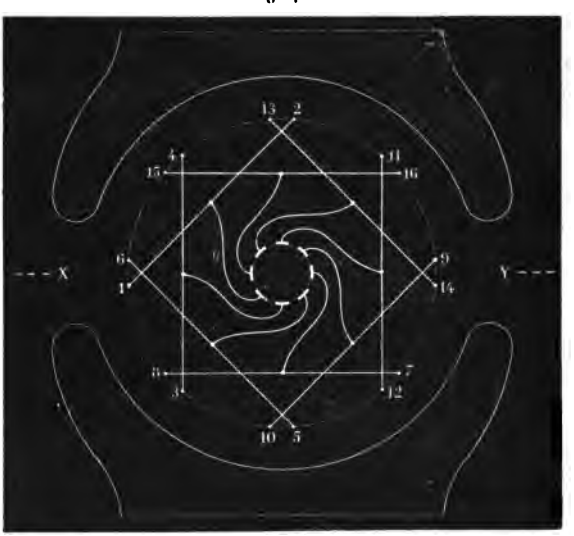
Or, les fils que l'on doit chercher à raccourcir sont justement

ceux qui se croisent sur les bases du cylindre noyau de la bobine :

Fig. 3.

ce sont donc ceux qui sont visibles sur les *fig.* 1, 2, 3, 4. Les autres

Fig. 4.



parties des conducteurs sont celles qui se projettent suivant les

points numérotés; elles sont parallèles à l'axe de rotation, et ce sont elles qui deviennent le siége d'une force électromotrice lorsque la bobine tourne dans un champ magnétique. On peut donc les appeler fils *efficaces* et appeler fils *inactifs* ceux qui ne servent qu'à relier convenablement les uns aux autres tous les fils efficaces.

Dans la *fig.* 4, on voit que les fils inactifs ne traversent les bases supérieures et inférieures que suivant des longueurs respectivement égales au côté du carré et au côté de l'octogone étoilé, inscrits dans ces bases, tandis que dans les *fig.* 1 et 2 ces mêmes fils sont des diamètres et des côtés d'octogone étoilé.

Le tableau qui suit présente les quatre enroulements décrits dans ce travail, dans leur ordre de mérite croissant. La première colonne indique, en effet, la longueur de leurs fils inactifs en fonction du rayon des bases. La longueur des fils efficaces est supposée la même dans tous les cas :

Solution Fröhlich (*fig.* 2).....	30,8
Solution Alteneck (*fig.* 1).....	30,5
Troisième solution (*fig.* 3).....	28,4
Quatrième solution (*fig.* 4).....	26,0

La quatrième solution est donc la meilleure, et celle de M. Fröhlich la moins favorable.

Accélérographe de M. Marcel Deprez, appareil destiné à la mesure des pressions développées par les gaz de la poudre; par M. Sebert.

Lorsqu'un projectile, placé dans une bouche à feu, est lancé par l'explosion d'une charge de poudre, il se trouve soumis à une pression brusquement développée dont les effets peuvent être rendus très-variables pour une même bouche à feu et une même charge de poudre, lorsqu'on modifie les caractères physiques de cette poudre, densité, forme et dimensions des grains, ou lorsqu'on fait varier les conditions du chargement, et en particulier l'espace initial qui est attribué à la charge.

C'est par l'observation des effets extérieurs du tir, mesure de la vitesse initiale du projectile, dégradation plus ou moins rapide de

la bouche à feu, facilité plus ou moins grande de la manœuvre de la fermeture de culasse, que l'on a été prévenu tout d'abord de ces variations dans le mode d'action de la poudre.

On a dès lors songé à les étudier de plus près, en cherchant à évaluer la pression exercée sur le projectile par les gaz de la poudre et à observer la rapidité de son développement.

On donnera une idée de la difficulté du problème en disant que, d'après les indications que l'on possède, lorsqu'il s'agit du tir d'une bouche à feu établie dans les conditions habituelles du service, la durée du parcours du projectile dans l'âme est comprise entre $\frac{1}{100}$ et $\frac{2}{100}$ de seconde, et que la pression, en kilogrammes par centimètre carré de surface, exercée sur les parois de l'âme, dépasse 2000^{kg} dans les bouches à feu de gros calibre, d'après les évaluations les plus modérées.

Si l'on fait abstraction des ondulations ou oscillations de pression qui doivent exister dans une masse gazeuse animée de mouvements aussi tumultueux que ceux qui se produisent dans l'intérieur d'un canon, on doit concevoir que la pression développée sur le culot du projectile, partant d'abord de zéro, s'accroît avec une très-grande rapidité jusqu'à ce qu'elle ait atteint un maximum, puis décroît plus lentement, par suite principalement de la détente qui résulte du déplacement du projectile, et enfin conserve encore une valeur assez grande au moment où ce dernier sort de l'âme.

Les faits déjà connus conduisent à admettre que le maximum de pression se produit souvent au bout de $\frac{1}{1000}$ ou même seulement $\frac{1}{2000}$ de seconde après l'instant de l'inflammation de la charge et quand le projectile ne s'est encore déplacé que d'une très-faible quantité ; mais on sait aussi que cette durée peut être doublée ou quadruplée pour un même canon par des modifications convenables dans les conditions du chargement, et que l'on peut obtenir ainsi un fonctionnement bien plus avantageux de l'arme, c'est-à-dire une vitesse initiale souvent plus forte avec des pressions intérieures beaucoup moindres.

Bien qu'il ait été fait, tant en France qu'à l'étranger, différents essais pour obtenir la loi du développement des pressions dans l'âme des bouches à feu en fonction du temps, les seuls appareils qui, jusqu'à ce jour, soient entrés, d'une façon effective, dans la pratique sont des instruments qui ne sont destinés qu'à donner la

valeur du maximum de la pression développée en certains points de l'âme, abstraction faite de toute indication relative au moment où ce maximum est obtenu.

En perçant, en des points déterminés de l'âme, des canaux perpendiculaires à la paroi et dans lesquels on loge des pistons parfaitement alésés et de section connue, le problème se trouve ramené à l'évaluation du maximum de l'effort exercé sur ces pistons pendant le tir.

Le poinçon Rodman, en usage en Amérique et en Russie, évalue cet effort par la grandeur de l'empreinte faite, dans une plaque fixe de cuivre, par le tranchant d'un poinçon en acier, de forme pyramidale, poussé directement par le piston.

L'appareil d'écrasement, dit *crusher*, qui a remplacé, en Angleterre, le poinçon Rodman et qui a été rendu réglementaire, en France, dans le service de l'artillerie de la marine, mesure ce même effort par la diminution de hauteur d'un petit cylindre de cuivre comprimé entre la tête du piston et un plan fixe.

Ces deux appareils se graduent au moyen d'opérations de tarage préalables, dans lesquelles on les soumet à des efforts gradués s'exerçant dans des conditions aussi analogues que possible à celles qui se présentent dans le tir, et l'on admet qu'à des déformations identiques, obtenues dans le tarage ou dans le tir, correspondent des pressions exercées égales.

Cette hypothèse ne serait justifiée que si l'on modifiait le mode de tarage suivant la nature des poudres employées, de façon que la loi du développement des pressions qui sont exercées sur la tête du piston par l'effort brusque que l'on doit produire dans l'opération du tarage fût toujours identique à celle du développement des pressions exercées par la poudre. Cette condition est évidemment irréalisable dans la pratique ; on n'a aucun moyen de s'assurer si elle est remplie, et, par suite, les appareils dont il s'agit ne peuvent donner que des indications sans signification précise.

L'appareil dit *accélérographe* qui a été proposé, en 1872, par M. Marcel Deprez, est au contraire destiné à faire connaître la loi du développement, en fonction du temps, des pressions exercées en un point donné de l'âme ; il permet, à cet effet, d'enregistrer la loi du mouvement imprimé par l'action des gaz de la poudre à un piston logé dans un canal normal à la paroi de l'âme, et qui forme

un mobile soumis librement à l'action des gaz et dont on connaît le poids.

On conçoit aisément comment on peut déduire des espaces parcourus par ce piston en fonction du temps les variations de l'accélération du mouvement, et par suite celles de l'effort exercé sur lui.

Les figures ci-jointes représentent cet appareil sous la forme qu'il a reçue en dernier lieu, forme qui ne diffère que par des dispositions de détail de celle qu'avait imaginée M. Marcel Deprez.

L'appareil est figuré avec la disposition qu'il peut recevoir dans un laboratoire pour étudier la loi du développement de la pression produite par la combustion de la poudre en vase clos ; mais il peut être également placé sur une bouche à feu, comme on l'a supposé dans tout ce qui précède.

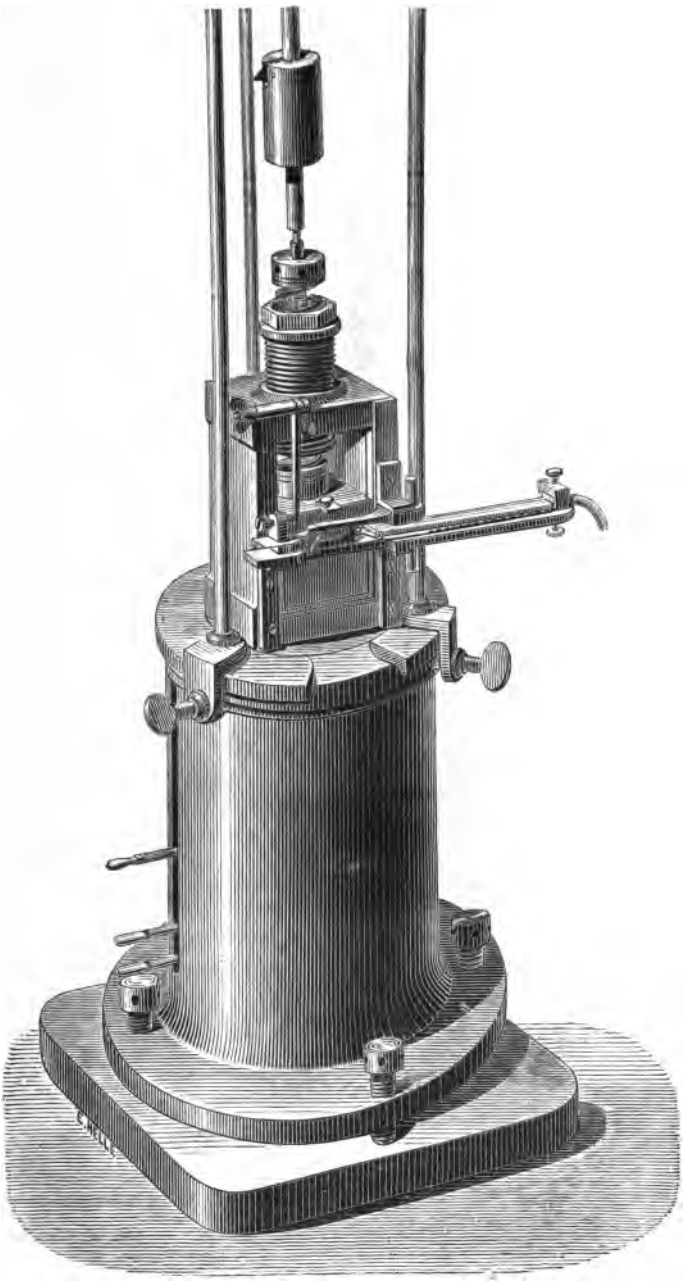
L'*éprouvette de poudrerie* que représente le dessin se compose d'une chambre mobile en acier, à parois très-épaisses, dans laquelle on fait détoner la poudre soumise aux essais. Cette chambre est introduite, par mesure de précaution, dans une enveloppe en bronze munie d'un couvercle, sur laquelle se monte la cage de l'accélérographe proprement dit.

La chambre en acier est fermée par deux bouchons à vis, disposés de façon à former obturateurs pour éviter les fuites de gaz. On obtient cette obturation en terminant ces bouchons par des parties parfaitement ajustées, creusées en forme de cuvettes, dont les bords, taillés en biseau, peuvent subir, par l'effet de la pression des gaz, une certaine expansion, et s'appliquent d'autant plus exactement que la pression est plus élevée, sur les parois du canal cylindrique qu'ils doivent boucher.

Le bouchon inférieur est traversé par un tampon tronconique en acier, parfaitement ajusté, qui est isolé électriquement du corps du bouchon par l'interposition d'une feuille de baudruche collée à la gomme laque. Ce tampon sert à fixer à l'intérieur de la chambre l'extrémité d'un fil de platine très-fin, dont l'autre bout communique avec le corps de l'appareil, et qui, porté au rouge sous l'action d'un courant électrique, met le feu à la charge de poudre au contact de laquelle il se trouve placé.

Le bouchon supérieur est traversé par un canal dans lequel est

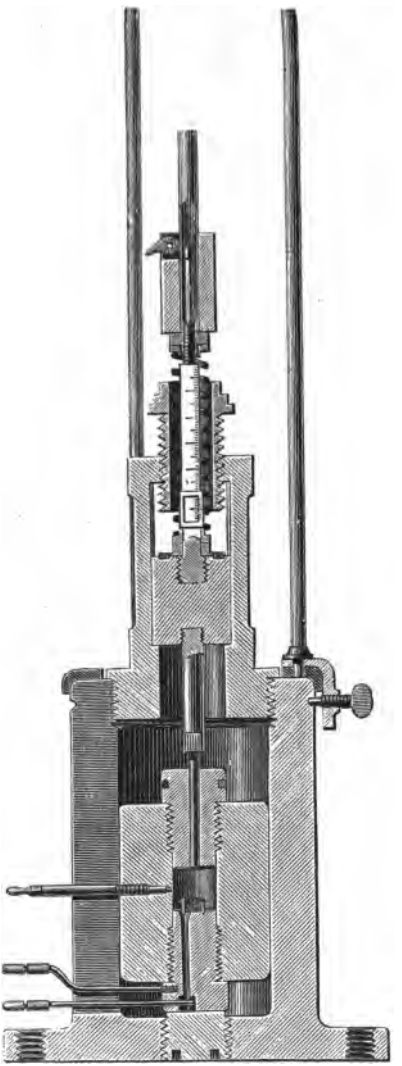
Fig. 1.



ajusté avec soin le piston dont on doit enregistrer le mouvement.

Ce piston se prolonge à travers le couvercle de l'enveloppe en

Fig. 2.



bronze et se visse à son extrémité supérieure dans une pièce cubique qui coulisse dans la cage rectangulaire que porte le couvercle.

Le piston et le cube qui le surmonte forment ainsi un mobile de poids connu susceptible de se déplacer librement sous l'action de la force développée par les gaz de la poudre, mais seulement, toutefois, dans la limite de la course que permet la hauteur de la cage qui sert de guide. Dans la face supérieure du cube est encastré un tampon en caoutchouc qui vient buter contre une vis de grand diamètre que porte la cage à sa partie supérieure, et amortit ainsi le choc qui résulte de l'arrêt du mouvement.

La vis, pouvant descendre plus ou moins, permet de diminuer à volonté la course laissée libre à partir de sa valeur extrême, qui est d'environ $0^m,05$.

C'est la loi du mouvement du piston, ou plutôt du cube qui le surmonte, qu'il s'agit d'enregistrer.

A cet effet, on fixe sur l'une des faces de ce cube un petit tableau carré, en acier, recouvert de noir de fumée.

Devant ce tableau est disposé un petit chariot portant un style formé d'une petite plume d'acier flexible et finement taillée. Le chariot coulisse entre deux rails parallèles disposés horizontalement, et dans ce mouvement son style trace un trait horizontal sur le tableau, à sa partie supérieure, lorsque celui-ci est immobile à sa position initiale.

Le chariot est sollicité à se mouvoir par l'action d'un ressort à détente très-rapide, qui, dans l'appareil représenté par la figure, n'est autre qu'une lanière de caoutchouc fortement tendue. On connaît d'ailleurs, ainsi qu'il sera dit plus loin, la loi exacte du mouvement qu'il prend sous l'influence de ce ressort.

Il est maintenu, au début de chaque expérience, à l'extrémité de sa course, par un organe disposé de façon à le rendre libre au moment précis où le piston se met lui-même en mouvement sous l'action des gaz de la poudre, de telle sorte que les deux mouvements, celui du piston et celui du chariot, qui s'effectuent dans des directions rectangulaires, aient une origine rigoureusement commune.

D'après la disposition de l'appareil, si l'on suppose que, le chariot restant fixe, le piston se déplace seul, le style tracera sur le côté gauche du tableau une ligne verticale qu'il aura parcourue en suivant la loi même du mouvement qu'il s'agit de déterminer. Si l'on suppose, au contraire, que le piston soit immobile et que le

chariot soit rendu libre, le style tracera sur le tableau, à sa partie supérieure, une ligne horizontale qu'il parcourra suivant une loi de mouvement connue.

Si les deux mouvements se produisent simultanément, leur composition engendrera une trace en forme de courbe régulière, dirigée dans l'angle formé par les deux droites précédentes, qui serviront d'axes de coordonnées, et, si l'on mesure avec précision les abscisses et les ordonnées des différents points de cette courbe, les abscisses horizontales pouvant donner les durées du trajet du style, puisque l'on connaît la loi de son mouvement, on aura les parcours verticaux du piston qui correspondent à ces durées connues, et, par conséquent, on pourra relever, par points, la courbe des espaces parcourus par le piston en fonction du temps.

Les lectures suivant les deux axes rectangulaires de coordonnées se font au moyen d'un microscope avec croisée de fils, porté par un chariot qui peut se déplacer suivant deux axes rectangulaires et qui est mis en mouvement dans chacune de ces directions au moyen d'une vis micrométrique. On peut ainsi faire aisément les lectures au centième de millimètre.

Il reste à indiquer comment on obtient la mise en marche simultanée du chariot et du piston et comment on détermine la loi du mouvement du chariot.

Pour assurer la coïncidence du départ du chariot avec le premier déplacement du piston, on maintient ce chariot à l'origine de sa course, malgré la tension exercée par le ressort, au moyen d'un appendice en forme de lame mince horizontale qui le prolonge du côté opposé au ressort et qui s'engage entre deux faces planes appartenant à deux petites pièces métalliques saillantes portées, l'une par la cage fixe de l'appareil, l'autre par le cube qui surmonte le piston et fait corps avec lui. Cette lame se trouve pincée entre ces deux pièces et maintenue par le poids du piston, sur lequel il suffit d'exercer une pression pour provoquer l'adhérence, qui se maintient ensuite jusqu'à ce que le piston soit soulevé.

Pour connaître la loi du mouvement du style, on pourrait, avec l'appareil formé d'un simple chariot sollicité à se mouvoir par la traction directe d'une lanière de caoutchouc, avoir recours au calcul, et l'on s'est servi d'abord de ce procédé.

Mais, pour obtenir plus de précision, on fait usage actuellement

d'une méthode dont l'idée a été donnée par M. Le Roux et qui exige l'emploi d'un chronographe de chute spécial.

Ce chronographe se compose simplement de deux montants verticaux entre lesquels tombe, le plus librement possible, une masse pesante sur laquelle on peut fixer le tableau même, qui doit être placé sur l'accélérographe.

On fixe à la partie inférieure des montants les glissières qui supportent le chariot de cet appareil, en les disposant de telle sorte que le tableau, dans sa chute, passe à fleur de ces glissières et rencontre le style du chariot.

Enfin, on établit sur l'un des montants un petit encliquetage qui maintient le chariot à l'origine de sa course, malgré la tension de la lanière en caoutchouc, et qui est dégagé au moment même du passage du tableau et laisse alors le style se mouvoir.

On obtient ainsi sur ce tableau, recouvert de noir de fumée, une courbe partant de l'un des angles inférieurs et affectant à peu près la forme d'une branche de parabole.

Comme on connaît, d'après la loi de la chute des corps, la vitesse acquise par le tableau au moment du passage de chacun de ses points devant le style, on peut évidemment, en relevant, avec le microscope à double vis micrométrique dont il a été question plus haut, les abscisses et les ordonnées de points régulièrement espacés sur cette courbe, déterminer par points la loi du mouvement horizontal du style que l'on voulait connaître.

Grâce à cette disposition, on enregistre donc, pour chaque expérience, sur la même plaque et au moment même du tir, la courbe qui fait connaître la loi du mouvement du style et celle qui fait connaître la loi du mouvement du piston; on élimine donc ainsi les erreurs qui pourraient provenir de changements dans les conditions physiques de l'appareil, et c'est ce qui permet de faire usage de lanières de caoutchouc, malgré la sensibilité de ce corps aux influences atmosphériques.

On pourrait d'ailleurs remplacer ce dispositif par l'emploi de ressorts métalliques; mais la simplicité des appareils à lanière et la commodité de leur réglage a conduit à les conserver, après avoir essayé d'y substituer différents autres systèmes.

On règle à volonté la tension donnée au caoutchouc, pour obtenir des mouvements plus ou moins rapides du style; on peut aussi

faire varier, au moyen de masses additionnelles, le poids du chariot mobile, et l'on parvient ainsi, après quelques tâtonnements, à obtenir que la courbe tracée par la poudre, pour une expérience déterminée, s'inscrive à très-peu près dans la direction de la diagonale du tableau, de façon à utiliser aussi bien que possible la place qu'offre ce dernier.

En faisant varier la hauteur de chute de l'appareil de tarage, on obtient de même que, pour la tension adoptée pour la lanière de caoutchouc, la courbe de tarage s'inscrive aussi à peu près dans la direction de la diagonale et permette, par conséquent, de relever la loi du mouvement du style dans toute l'étendue de sa course utile.

Enfin, pour obtenir l'enregistrement des effets de la poudre pendant des durées plus ou moins longues, malgré la course restreinte du piston, on peut ralentir le mouvement de ce dernier, soit en faisant varier sa section soumise aux gaz, soit en le chargeant de poids additionnels qui s'appliquent sur la face supérieure du cube par l'intermédiaire d'une tige métallique pénétrant dans le canal ménagé dans l'axe de la vis qui sert à régler la course du piston.

Quand l'appareil est monté sur une bouche à feu, ces poids sont laissés libres; ils sont alors projetés en l'air, à une hauteur de 2^m ou 3^m, lorsque le piston, arrivant à la fin de sa course, se trouve brusquement arrêté.

Quand l'appareil est monté sur une éprouvette de poudrerie, ces poids peuvent, comme l'indiquent les *fig.* 1 et 2, être guidés par une tige verticale qui les traverse. On peut alors leur faire déplacer, le long de cette tige, un petit curseur, sans masse sensible et monté à frottement doux, qui conserve la trace de la hauteur à laquelle ils parviennent et peut permettre de calculer quelle était la vitesse du piston à la fin de sa course libre. On obtient ainsi un contrôle de la marche de l'appareil.

Il est bon, dans ce cas, de munir le poids inférieur, comme l'indique la *fig.* 1, d'un encliquetage Dobo, qui empêche les masses additionnelles de retomber violemment sur l'appareil.

Un autre contrôle de la marche de l'appareil est donné encore par une lame vibrante placée sur le côté de la cage fixe, et portant une plume qui trace sur le tableau des oscillations destinées à

faire connaître les déplacements du piston qui correspondent à des durées égales à la période des vibrations de cette lame.

Les tracés que l'on obtient avec l'accélérographe sont très-nets et très-réguliers, et permettent d'effectuer avec précision les lectures au microscope.

La *fig.* 3 reproduit les tracés obtenus dans une expérience prise au hasard; la courbe qui part de l'angle inférieur de droite de la figure, tangentiellement à l'axe ouvert des coordonnées, est la courbe de tarage donnée par l'appareil de chute; la courbe tracée

Fig. 3.

3 août 18,6 (n° 2).

lors de l'explosion de la poudre est celle qui part de l'angle supérieur de gauche, et la trace sinusoïdale située près du bord gauche du tableau est la trace du contrôle donnée par la lame vibrante.

Lorsqu'on opère sur une bouche à feu, il faut seulement avoir soin d'orienter l'appareil de façon que le plan du tableau soit normal au plan de tir, pour que le mouvement du chariot ne puisse être modifié par l'accélération due au recul de la bouche à feu.

En construisant les courbes des pressions développées en fonction du temps, déduites de tracés obtenus sur des bouches à feu de divers calibres, on a obtenu des courbes qui présentent des ondulations nombreuses; ces ondulations sont d'autant plus pro-

noncées, comme on devait s'y attendre, que les charges employées sont plus élevées et plus près des limites admissibles pour chaque bouche à feu. En les faisant disparaître par le tracé d'une courbe moyenne, on obtient une représentation simplifiée du mode d'action de la poudre dans chaque cas considéré.

L'accélérographe peut être employé à l'observation de phénomènes autres que ceux de la combustion de la poudre ; il a servi déjà, par exemple, à mesurer les variations de pression produites, lors du tir, dans les cylindres, remplis tantôt d'eau et d'air, tantôt d'eau seulement, mais munis alors d'orifices d'écoulement, qui servent de freins dans les nouveaux affûts hydrauliques des bouches à feu de gros calibres. On peut en imaginer aisément d'autres applications.

SÉANCE DU 16 MAI 1879.

PRÉSIDENCE DE M. BERTHELOT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 2 mai est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. Kotchoubey, président de la Société impériale Polytechnique de Russie.

Lefebvre, professeur au lycée de Versailles.

Lvoff (Théodore), secrétaire de la Société impériale Polytechnique de Russie.

Monteil (Silvain), professeur au collége de Vannes.

Roger (Albert), à Épernay.

Thompson (P. Silvanus), professeur au collége de l'Université de Bristol.

Vacher (Paul), à Paris.

M. Gaumet présente un télémètre à double réflexion et décrit les diverses dispositions qu'il a imaginées pour la mesure rapide des distances.

M. Jamin expose les idées théoriques qui l'ont conduit à réaliser

un nouveau brûleur électrique utilisant, pour fixer l'arc à la pointe des charbons, l'action électrodynamique d'un cadre multiplicateur traversé par le courant dans le même sens que les charbons. Les courants d'air produits par la chaleur de l'arc tendent à le courber vers le haut, à augmenter sa longueur et sa résistance et finalement à l'éteindre; mais, en disposant les charbons avec la pointe en bas, l'action électrodynamique et celle des courants d'air agissent en sens contraire et l'arc présente une longueur minimum et une fixité remarquable; de plus la lumière produite est dirigée vers le bas, et l'on recueille sur le sol la plus grande quantité de lumière possible.

M. Jamin a pu allumer jusqu'à onze de ses foyers dans l'un des circuits d'une machine de Gramme, dite *à six lumières,* l'autre circuit restant ouvert. L'intensité lumineuse totale croît jusqu'à une certaine limite avec le nombre de becs allumés dans le circuit; pour un seul, cette intensité a été trouvée équivalente à 120 becs Carcel; avec cinq lumières, l'intensité totale équivaut à 350 becs, soit 70 becs par foyer électrique.

Il est probable que l'effet du circuit est d'augmenter les extracourants, d'où le grand nombre et l'éclat des foyers entretenus par la machine de Gramme à lumière, laquelle est, comme on sait, à courants alternatifs.

M. Jamin reconnaît, en terminant, le mérite de l'invention de M. Jablochkoff, qui le premier a rendu pratique l'éclairage par l'électricité : le progrès réalisé par le nouveau brûleur ne sera sans doute pas le dernier mot de la Science sur ces matières.

M. Jablochkoff, sans contester l'existence des actions électrodynamiques, demande si l'efficacité du circuit employé par M. Jamin est suffisante pour être pratiquement constatée. Il dit n'avoir pu la reconnaître, ni pour le nombre des allumages, ni pour l'intensité des foyers, dans des expériences comparatives qu'il a faites tant avec sa bougie qu'avec celle de M. Jamin, et en se plaçant autant que possible dans des conditions identiques à celles où M. Jamin a opéré.

Après avoir encore témoigné qu'il rend pleinement justice à M. Jablochkoff, M. Jamin répond que, l'action électrodynamique du circuit étant une conséquence de la loi d'Ampère, son efficacité ne peut faire l'objet d'une discussion. Cette action existe déjà

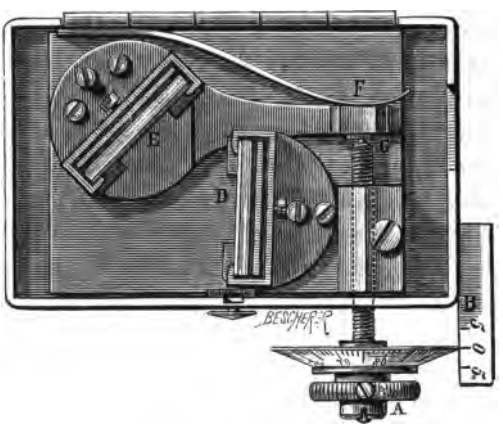
dans les bougies de M. Jablochkoff, mais c'est M. Jamin qui l'y a signalée le premier, en l'appliquant rationnellement à la construction de son nouveau brûleur.

Le télémètre de poche à double réflexion (¹); par M. Gaumet.

Le télémètre de poche à double réflexion comprend deux parties essentielles :

1° Un système de deux miroirs D, E (*fig.* 1), disposés sur une

Fig. 1.



petite plaque métallique, de manière à faire entre eux un angle de 45°; l'un d'eux, D, est fixe, l'autre, E, est monté sur une alidade mobile; on peut ainsi faire varier l'angle des miroirs de 41° à 49°.

2° Une vis micrométrique AG très-régulière, d'un pas de $0^{mm},5$. La tête de cette vis est un cercle divisé sur sa circonférence en cent parties. Cette vis se meut dans un écrou fixé sur la plaque métallique. Une réglette, sur laquelle sont tracées des divisions égales au pas de la vis, se trouve par sa tranche presque en contact avec le bord du cercle et sert de repère. Un ressort agissant sur l'extrémité de l'alidade établit un contact permanent entre celle-ci

---

(¹) Instrument destiné à la mesure rapide des distances.

et la pointe de la vis. Ces pièces sont disposées dans une boîte rectangulaire, présentant à la partie postérieure une petite ouverture à fente horizontale servant de viseur et sur la droite une fenêtre rectangulaire par laquelle pénètrent les rayons lumineux émanés des objets vus par double réflexion.

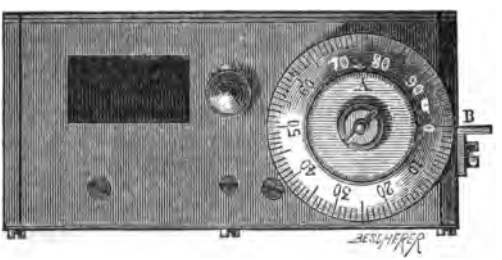
Un cordonnet de soie de 10^m de long, enroulé sur une bobine, est joint à l'instrument et sert à la mesure de la base.

Le cordonnet et l'instrument sont contenus dans un sac en peau.

Le télémètre de poche est une application du principe de la double réflexion :

« Lorsqu'un rayon lumineux est réfléchi successivement par deux miroirs plans dans un plan perpendiculaire à l'intersection

Fig. 2.



de ces deux miroirs, l'angle formé par le rayon incident et le rayon réfléchi est double de l'angle des miroirs. »

La mesure d'une distance avec le télémètre de poche comprend trois opérations :

1° Détermination d'un angle droit ou à peu près droit CAM;

2° Mesure d'une base AB au cordonnet ou au pas;

3° Mesure de l'angle au sommet ACB.

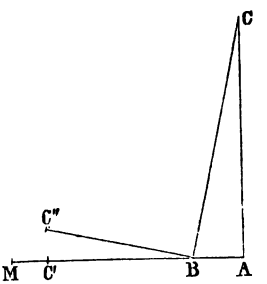
Le télémètre de poche donne le moyen de construire l'angle droit CAM et de mesurer l'angle au sommet ACB.

Un observateur voulant mesurer la distance AC se place en A, de manière à apercevoir sur sa droite le point C. L'image du point C apparaît directement placée au-dessous d'un signal M naturel ou artificiel, vu directement et situé sur la direction perpendiculaire ou presque perpendiculaire à AC.

L'angle CAM est droit toutes les fois que les deux miroirs font un angle de 45°.

Lorsqu'il ne se trouve pas dans la direction perpendiculaire de signal naturel et qu'on ne peut pas y faire placer un signal artificiel, homme ou jalon, on choisit comme signal un point voisin et l'on amène sur ce point l'image C′ du point C, en faisant tourner le miroir d'un petit angle en agissant sur la partie molettée de la vis. (L'erreur résultant de l'obliquité de la base est inférieure au $\frac{1}{200}$ de la distance lorsque l'inclinaison de la base ne dépasse pas 8°. Les positions extrêmes du disque de la vis micrométrique sont réglées de manière que l'angle des deux miroirs varie de 41° à 49°.)

Fig. 3.



L'image du point C apparaissant dans la direction du signal choisi, l'observateur fait mesurer une base AB de 20^m dans la direction AM. Il se porte ensuite à l'extrémité de la base et vise de nouveau le signal. Il ne retrouve plus alors l'image du point C en coïncidence avec le signal M; cette image est reportée à droite, en un point C″, C″BM étant égal à ACB. Pour rétablir la coïncidence, il faut faire tourner le miroir mobile d'un angle égal à la moitié de C″BM ou de ACB qui lui est égal.

Dans le télémètre de poche, l'angle de rotation du miroir est mesuré par sa tangente, et cette mesure est effectuée à l'aide de la vis micrométrique. L'emploi d'un pareil procédé donne une très-grande approximation; on peut, en effet, au moyen de la vis micrométrique, apprécier un déplacement tangentiel de $\frac{1}{600}$ de millimètre.

Lorsqu'on a produit à l'extrémité de la base la coïncidence entre le signal et l'image du point C, on lit sur la tête de vis le numéro de la division qui est en face du repère.

Le nombre total des divisions qui ont défilé devant la réglette

donne la mesure de la tangente de l'angle de rotation du miroir.

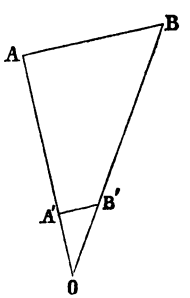
Cet angle est moitié de l'angle ACB, celui-ci étant toujours très-petit; on peut admettre sans erreur sensible que la tangente de l'angle ACB est double de la tangente mesurant l'angle de rotation du miroir.

Si l'on désigne par D la distance à mesurer, par b la base prise, par n le nombre de divisions trouvé après une opération, la distance appréciée sera donnée par la formule $D = b\frac{3400}{n}$, dans laquelle 3400 représente, en centièmes de millimètre, la distance qui sépare le pivot du miroir de l'axe de la vis micrométrique. L'instrument étant employé avec la base de 20^m, on aura

$$D = \frac{20 \times 3400}{n} = \frac{68000}{n}.$$

On voit par là qu'en divisant un nombre constant pour chaque instrument par le nombre de divisions trouvé on obtient la distance cherchée. Ce calcul, bien que très-simple, est évité par l'emploi d'une Table fixée sous la partie inférieure de l'instrument et pro-

Fig. 4.



tégée par une feuille de corne transparente. Cette Table donne immédiatement la distance correspondant à chaque nombre de divisions. Cette Table a été construite en supposant une base de 20^m.

La formule précédente montre que, pour avoir la distance correspondant à une base double, triple, etc., il suffit de doubler, tripler le résultat obtenu d'après la Table.

La base de 20^m est suffisante jusqu'à 2000^m, si l'on se contente

de l'approximation du $\frac{1}{50}$. On emploiera la base de 40^m jusqu'à 4000^m, celle de 60^m jusqu'à 6000^m, etc.

La durée moyenne d'une opération télémétrique est inférieure à deux minutes; souvent même le résultat peut être obtenu en moins d'une minute.

Le télémètre peut servir à mesurer la distance de deux points inaccessibles A, B. On déterminera avec le télémètre les distances du point de station O aux points A et B, puis on prendra sur les directions OA, OB des longueurs OA′, OB′ proportionnelles aux distances OA, OB. La mesure de A′B′ donnera, par une simple proportion, la valeur de AB.

$$\frac{A'B'}{AB} = \frac{OA'}{OA},$$

d'où

$$AB = A'B' \frac{OA}{OA'}.$$

Soient, par exemple, $OA = 3550^m$, $OB = 4200^m$; on prendra sur OA, OB des longueurs OA′, OB′ égales au $\frac{1}{100}$ de ces distances, et, si A′B′ mesurée est égale à $27^m,50$, la distance AB sera de 2750^m.

On voit ainsi quel parti précieux on peut tirer du télémètre de poche dans l'exécution des levés rapides. Un observateur placé sur une position dominante relèvera, en quelques minutes et presque sans changer de place, les points principaux formant le canevas d'un levé expédié.

C'est ainsi qu'il a été possible de déterminer, sur le sommet de l'Arc de Triomphe, la distance qui existe entre les principaux monuments de Paris.

Emploi de deux instruments conjugués. — On peut mesurer une distance en employant deux instruments conjugués, tenus par deux observateurs placés à l'extrémité d'une base déterminée par un fil de 20^m ou de 40^m de longueur. L'un des opérateurs, placé en A au sommet d'un angle droit CAB, voit l'image du point C dans la direction AB; le second opérateur, placé en B à l'extrémité de la base et visant A, voit l'image de C dans la direction BC′. En déviant cette image par la rotation du miroir mobile, de manière à produire la coïncidence avec le point A, on

aura un moyen de mesurer l'angle ACB, et par suite de déterminer la distance AC.

Dans ce procédé, les deux visées sont faites simultanément et l'opération gagne encore en rapidité; on a, en outre, l'avantage précieux de répéter une observation plusieurs fois en une minute, ce qui permet de réduire l'erreur des deux tiers.

L'emploi de deux instruments conjugués peut servir à déterminer, sur un navire en repos ou en mouvement, la distance du bord à un point du littoral.

Emploi du télémètre comme équerre à réflexion. — Lorsque le zéro de la vis micrométrique correspond au zéro de la réglette, les deux miroirs par construction font un angle de 45°, et les images des objets doublement réfléchis sont déviées de 90°. Un pareil

Fig. 5.

instrument peut donc servir à élever des perpendiculaires, tout en présentant sur l'équerre d'arpenteur les avantages de ne pas exiger de support, toujours embarrassant à transporter, d'être d'un emploi plus rapide et de posséder une plus grande justesse.

Applications du télémètre de poche. — Le télémètre de poche, essentiellement portatif, d'un maniement commode, d'une exactitude suffisante, est susceptible de nombreuses applications.

Au point de vue militaire, son emploi est tout désigné sur le champ de bataille, dans les reconnaissances, aux avant-postes, dans la guerre de siége.

Les applications du télémètre de poche, considéré comme instrument topographique, ne sont pas moins nombreuses. L'emploi de cet instrument sera des plus avantageux dans l'exécution des levés expédiés pour la détermination rapide des distances. Il per-

mettra de relever en quelques minutes et presque sans changer de place les points principaux formant le canevas du levé.

Le télémètre peut être avantageusement employé par les ingénieurs dans l'exécution de certains avant-projets, par les géomètres dans les opérations d'arpentage, en même temps qu'il devient une partie indispensable du matériel scientifique de tout voyageur chargé de l'établissement d'un levé chorographique.

De quelques phénomènes mécaniques et calorifiques qui accompagnent l'électrolyse; par M. E. Bouty.

(Séances du 4 avril et du 4 juillet 1879.)

Première Partie.

Phénomènes mécaniques.

I. — *Pressions exercées par les dépôts galvaniques.*

Prenons un thermomètre à réservoir cylindrique, rendons-le conducteur en y collant une feuille d'or ou mieux en y déposant chimiquement une mince couche d'argent, et employons-le comme électrode négative dans la décomposition d'un sel de cuivre par exemple. Le dépôt métallique exerce sur le réservoir une pression considérable, car le mercure s'élève dans la tige d'autant plus que le dépôt est plus épais; et l'on ne peut invoquer, pour expliquer cette ascension, ni une élévation locale de température, car le thermomètre est, nous le verrons, un peu plus froid que le liquide ambiant, ni une action électrique directe, car l'excès du thermomètre n'a pas de relation avec l'intensité du courant et il persiste après sa suppression. Il est lié à la qualité *métallique* du dépôt, dont il fournit une sorte de mesure indirecte. Les dépôts très-cristallins ou grossièrement grenus exercent une compression insignifiante; les beaux dépôts produisent des pressions énormes.

Aussi longtemps que l'on conserve le thermomètre enveloppé de la couche métallique, il jouit de propriétés invariables. Il n'a rien perdu de sa sensibilité, et l'on peut le soumettre à des variations de température assez étendues sans produire de nouveau déplacement du zéro. Quand on amincit régulièrement la couche par

l'action d'un acide, le thermomètre se rapproche de son indication normale; il y revient exactement quand on enlève tout le métal.

M. Mills [1], qui a découvert avant moi, et sans que j'en eusse connaissance quand j'ai entrepris ce travail, le fait de la contraction des thermomètres, avait annoncé que le cuivre, le fer, l'argent et le nickel contractent, que le cadmium et le zinc dilatent les réservoirs sur lesquels ils s'appliquent. J'ai trouvé que tous les métaux, y compris le zinc, n'agissent jamais que par compression; mais cette pression, qui n'est pas le fait fondamental, n'est pas nécessairement normale ni la même en tous les points : elle n'est que la conséquence d'une diminution de volume que subit le métal en se déposant. De là des phénomènes assez variés suivant la forme du réservoir du thermomètre, l'état sous lequel le métal se dépose et les actions auxquelles il est soumis ultérieurement.

Je me placerai dans le cas idéal d'un thermomètre à réservoir cylindrique terminé en haut et en bas par des bases planes incompressibles. Soient R son rayon extérieur, R′ le rayon extérieur d'une couche métallique régulière déposée à sa surface. Imaginons que celle-ci éprouve un très-petit retrait qui diminuerait son volume intérieur U d'une quantité aU si le thermomètre ne résistait pas; mais, comme il résiste, une pression normale P se développe en tous les points de la couche de contact, agissant de l'extérieur vers l'intérieur sur le thermomètre, dont elle diminue le volume extérieur d'une quantité mPU, de l'intérieur vers l'extérieur sur le métal, dont la capacité interne, qui aurait diminué de aU par l'effet du retrait, diminuera seulement de $(a - m'P)U$. Les variations du volume extérieur du thermomètre et du volume intérieur du métal sont égales. On a donc pour déterminer P la relation

$$(a - m'P)U = mPU,$$

d'où

$$P = \frac{a}{m + m'}. \tag{1}$$

Reste à expliciter les coefficients m' et m. La variation m' du

---

[1] *Proceedings of the Royal Society of London*, t. XXVI, p. 504.

volume intérieur d'un cylindre soumis extérieurement à la pression zéro, intérieurement à la pression P, serait, d'après Lamé,

$$(2) \qquad m' = \frac{1}{3}\left(8\frac{R^2}{R'^2 - R^2} + 5\right)k',$$

k' désignant le coefficient de compressibilité cubique du métal. C'est de cette formule que Regnault ([1]) s'est servi dans ses expériences sur la compressibilité des liquides. Elle devrait, d'après Wertheim ([2]), être remplacée par

$$(2\ bis) \qquad m' = \frac{1}{4}\left(11\frac{R^2}{R'^2 - R^2} + 8\right)k',$$

qui, appliquée aux mêmes expériences, conduit à des valeurs à peu près identiques des coefficients de compressibilité.

Pour m on déduit des formules de Wertheim, en représentant par r le rayon intérieur du thermomètre, par k le coefficient de compressibilité du verre dont il est formé,

$$(3) \qquad m = \frac{8r^2 + 3R^2}{4(R^2 - r^2)}k.$$

Pour reconnaître si la formule (1) représente bien les phénomènes auxquels j'ai eu affaire, j'ai employé des thermomètres cylindriques à réservoir de $0^m,12$ à $0^m,15$ de longueur, renflés à l'origine de la tige de manière à pouvoir s'adapter, à la place du réservoir à gaz, dans l'appareil construit par M. Ducretet pour les expériences de M. Cailletet. Ces thermomètres m'ont été fournis par M. Alvergniat ; ils sont divisés en cinquièmes de degré. Je les argentais par le procédé Martin, puis j'employais chacun d'eux comme électrode positive au centre d'un élément Daniell ([3]) dont le liquide dépassait le réservoir d'environ $0^m,01$ en dessus et en dessous. Dans ces conditions, la densité du courant était très-sensiblement

---

([1]) *Mémoire sur la compressibilité des liquides* (*Relation des expériences sur les lois et les données numériques qui entrent dans le calcul des machines à vapeur*, t. I, p. 440).

([2]) *Mémoire sur l'équilibre des corps solides homogènes*, p. 33 (*Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, t. XIII).

([3]) Zinc, sulfate de zinc au maximum de concentration, sulfate de cuivre concentré.

constante en tous les points de la surface soumise au cuivrage. On observait d'heure en heure et comparativement les indications du thermomètre cuivré et d'un thermomètre type. Au bout d'un certain temps, on déterminait par une pesée la quantité de métal précipitée.

Soient Q le poids de cuivre déposé pendant l'unité de temps sur l'unité de surface du cylindre, R′ la valeur que possède au temps t le rayon extérieur de la couche, D sa densité; on a

$$2\varpi RQT = \pi(R'^2 - R^2)D. \tag{4}$$

Mais, si l'on admet la valeur (2 *bis*) de m donnée par Wertheim,

$$\left\{\begin{aligned} P &= \frac{a}{m + \frac{1}{4}\left(11\frac{R^2}{R'^2 - R^2} + 8\right)k'} = \frac{\frac{a}{m+2k'}(R'^2 - R^2)}{(R'^2 - R^2) + \frac{11}{4}\frac{k'}{m+2k'}R^2} \\ &= \frac{\frac{a}{m+2k'}t}{t + \frac{11}{8}\frac{k'}{m+2k'}\frac{D}{Q}R} = \frac{At}{t+B}, \end{aligned}\right. \tag{5}$$

$$A = \frac{a}{m+2k'}, \tag{6}$$

$$B = \frac{11}{8}\frac{k'}{m+2k'}\frac{D}{Q}R. \tag{7}$$

On sait que la diminution du volume intérieur U′ du thermomètre est proportionnelle à la pression exercée à sa surface, soit $m''PU'$; on a, d'après Wertheim,

$$m'' = \frac{11}{4}\frac{R^2}{R^2 - r^2}k. \tag{8}$$

Mais, quand le réservoir diminue de $m''PU'$, le liquide s'élève dans la tige de $6480\,m''P$ degrés environ. L'excès E du thermomètre, évalué en degrés, sera donc

$$E = 6480\,m''P = 6480\,m''\frac{At}{t+B} = \frac{A't}{t+B}, \tag{9}$$

$$A' = 6480\,m''A. \tag{10}$$

1° On vérifie que les observations sont exactement représentées par la forme de fonction que nous venons de trouver. Je citerai à titre d'exemples quelques-uns des résultats que j'ai obtenus, ainsi qu'une expérience de M. Mills.

Thermomètre n° 1.

$R = 2^{mm},941$, $r = 2^{mm},08$, $Q = 19^{mgr},3$,
$A' = 5,5$, $B = 25$.

Temps en heures.	E observé.	E calculé.
	°	°
0,75	0,19	0,16
2,75	0,54	0,54
5,33	0,925	0,95
6,83	1,17	1,20
8,50	1,35	1,46
9,83	1,57	1,54
12,91	1,98	1,86
23,50	2,66	2,66

Thermomètre n° 2.

$R = 2^{mm},626$, $r = 2^{mm},074$, $Q = 16^{mgr},66$,
$A' = 7$, $B = 18$.

Temps en heures.	E observé.	E calculé.
	°	°
0,83	0,30	0,30
1,8	0,62	0,63
2,8	0,82	0,94
3,8	1,12	1,22
5,8	1,61	1,71
6,8	1,60	1,92
7,8	1,89	2,11
8,8	2,07	2,30
9,8	2,33	2,41
13,0	2,88	2,93
24,0	4,50	4,00

Thermomètre n° 3.

$R = 1^{mm},950$, $r = 1^{mm},398$, $Q = 20^{mgr},8$, $A' = 4,7$, $B = 14$.

Temps en heures.	E observé.	E calculé.
	°	°
0,75	0,42	0,24
2,75	1,01	0,77
5,33	1,29	1,30
6,83	1,47	1,54
8,50	1,54	1,77
9,83	1,76	1,95
12,91	1,83	2,25
23,5	2,99	2,99

Observation de M. Mills.

$A' = 11,217$, $B = 15$.

Temps en heures.	E observé.	E calculé.	E D'après M. Mills.
	°	°	°
1	0,697	0,701	0,741
2	1,300	1,322	1,361
3	1,901	1,869	1,892
4	2,495	2,361	2,354
5	2,750	2,804	2,765
6,5	3,392	3,405	3,310
8	3,858	3,823	3,790
9	3,941	4,206	4,084
10	4,238	4,483	4,361
48	8,915	8,546	10,052

Les nombres de la quatrième colonne de ce dernier Tableau sont calculés au moyen d'une formule exponentielle très-compliquée, donnée par M. Mills [1].

---

(1) $E = 11,217 - 9,859.0,96363^t - 1,358.0,71841^t$;

les divers coefficients n'ont aucune relation indiquée avec les dimensions du réservoir du thermomètre.

2° La limite A vers laquelle tend la pression pour un dépôt d'épaisseur indéfinie ne dépend que de la qualité du métal et de la compressibilité extérieure m du thermomètre ; elle ne dépend pas directement de R. Il n'en est pas de même de B : la pression s'approche d'autant plus vite de sa limite que le rayon R est plus petit. L'expérience montre en effet que la contraction d'un thermomètre presque linéaire est très-rapide, tandis que je n'ai pu observer qu'une contraction insignifiante sur un gros thermomètre à alcool de $0^m,03$ de diamètre, bien qu'il fût muni d'une tige extrêmement capillaire.

3° Pour un même thermomètre, recouvert de métal par des courants d'intensités différentes, le produit du coefficient B par le poids Q, qui mesure la *densité* du courant, est un nombre constant :

$$QB = \frac{11}{8} \frac{k'}{m + 2k'} DR. \tag{11}$$

Voici les valeurs trouvées pour ce produit, d'après les meilleures expériences :

Thermomètre n° 1.

Q.	B.	QB.
gr 0,0193	25	0,4825
0,0225	21	0,4725
	Moyenne....	0,4775

Thermomètre n° 2.

Q.	B.	QB.
gr 0,01666	18	0,300
0,0208	15	0,312
	Moyenne....	0,306

Thermomètre n° 3.

Q.	B.	QB.
gr 0,0149	20	0,298
0,0208	15	0,312
	Moyenne....	0,305

4° De la formule (10) on tire

$$(12) \qquad k' = \frac{8QBm}{11DR - 16QB}.$$

On peut se proposer de calculer k' d'après les valeurs de QB et de m trouvées pour les divers thermomètres. On déduit m de l'observation de la compressibilité intérieure m'' au moyen de la formule

$$(13) \qquad m = \frac{8r^2 + 3R^2}{11R^2} m'',$$

obtenue en éliminant k entre les formules (3) et (8).

Pour élever le mercure dans la tige du thermomètre n° 1 d'une quantité égale à 1°, c'est-à-dire pour diminuer le volume du réservoir de $\frac{1}{6480}$ de sa valeur, il fallait une pression extérieure de $11^{atm},427$ (¹), soit de $11^{kg},807$ par centimètre carré. Par une pression de 1^{kgm}, le réservoir diminuera d'une fraction

$$m'' = \frac{1}{11,807} \frac{1}{6480}.$$

On a, pour ce thermomètre, $R = 2^{mm},941$, $r = 2^{mm},08$; on en déduit, d'après la formule (12),

$$m = 0,63636 m'' = \frac{0,63636}{11,807.6480}.$$

Prenons la densité D du cuivre déposé égale à 8,93; la formule (12) nous donne

$$k' = \frac{8.0,4775.0,63636}{6480.11,807(11.8,93.0,2941 - 16.0,4775)} = 0,0000014989.$$

Le même calcul a été fait pour les thermomètres n°s 2 et 3; on a trouvé :

Thermomètre	n° 1.....	$k' = 0,0000014989$
»	n° 2.....	0,0000014823
»	n° 3.....	0,0000014806
	Moyenne.....	0,0000014873 (²).

(¹) Pour le thermomètre n° 2 cette pression est seulement de $8^{atm},608$, et de $11^{atm},150$ pour le thermomètre n° 3.

(²) Dans une Note insérée aux *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*,

Regnault obtint directement, pour le cuivre écroui,

$$k' = 0,00000131 7.$$

La coïncidence des nombres précédents avec celui-là paraîtra très-suffisante, eu égard à la multiplicité des éléments qui interviennent dans le calcul, et surtout à l'incertitude de la valeur des produits constants QB, qui ne peut être connue avec quelque précision qu'en multipliant beaucoup les séries d'expériences faites avec chaque thermomètre.

Reste à savoir quelle est la diminution de volume a qu'il faut invoquer pour expliquer la contraction des thermomètres. Des formules (6) et (10) on tire

$$(14) \qquad a = \frac{(m + 2k')A'}{6480\, m''};$$

les expériences consignées dans les Tableaux ci-dessus donnent :

Thermomètre n° 1...	$Q = 19,3^{mgr}$	$a = 0,0007348$
	$Q = 22,5$	$a = 0,0009218$
Thermomètre n° 2...	$Q = 16,66$	$a = 0,0009702$
	$Q = 20,8$	$a = 0,0006652$
Thermomètre n° 3...	$Q = 14,9$	$a = 0,0004725$
	$Q = 20,8$	$a = 0,0006345$

Ces valeurs de a sont toutes inférieures à $\frac{1}{1000}$; mais on trouverait des nombres extrêmement faibles pour les dépôts effectués d'une manière trop lente ou trop rapide ($Q < 10^{mgr}, Q > 30^{mgr}$).

En admettant 0,001 comme limite supérieure de a, on trouvera la valeur maximum des pressions qui peuvent être produites sur les divers thermomètres en posant $P = A = \frac{0,001}{m + 2k'}$, ce qui donne :

Pour le thermomètre n° 1....	$P = 88,193^{kg} = 85,365^{atm}$
» n° 2....	$P = 64,159 = 62,109$
» n° 3....	$P = 88,102 = 85,288$

---

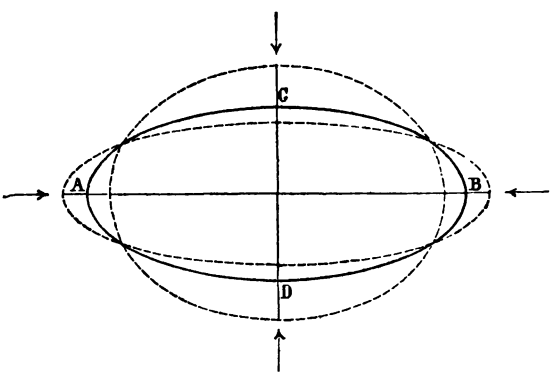
t. LXXXVIII, p. 714, j'ai indiqué des valeurs de k plus faibles, par suite d'une évaluation inexacte du rapport $\frac{m''}{m}$.

Dans l'hypothèse d'un thermomètre absolument incompressible ($m = 0$), on aurait

$$P = \frac{0,001}{2.0,0000014873} = 336^{kg},18 = 325^{atm},44.$$

L'étude de thermomètres de forme quelconque n'offre plus maintenant grand intérêt [1]. Le cas le plus curieux est celui de thermomètres dont le réservoir est un cylindre elliptique très-aplati, de section telle que ABCD (*fig.* 1). Si l'on exerce mécaniquement une pression normale dans le sens du petit axe CD, l'ellipse

Fig. 1.



s'aplatit, diminue de section, et l'on vérifie que le mercure monte dans la tige du thermomètre; une pression dans le sens de AB rapproche l'ellipse de la forme circulaire, et le mercure baisse. L'effet résultant d'une pression uniforme appliquée normalement en tous les points est une diminution de volume et une ascension du mercure : on le vérifie en comprimant le thermomètre à l'intérieur d'un piézomètre.

Quel effet produira la pression d'un dépôt galvanique d'épaisseur uniforme? Cette pression croissant beaucoup plus vite aux

---

[1] Le cas des thermomètres à réservoir sphérique dépend de formules très-simples; malheureusement, il est difficile d'obtenir sur une sphère un dépôt galvanique d'épaisseur bien uniforme. Si, comme l'a fait M. Mills, on emploie un anode plan ou cylindrique, les régions équatoriales se couvrent d'un dépôt plus épais que les régions polaires, et l'on se trouve en présence d'un cas très-compliqué.

points où le rayon de courbure est le plus faible, c'est-à-dire aux extrémités du grand axe, l'effet correspondant pourra dominer et alors le mercure baissera dans la tige du thermomètre. C'est ce que j'ai toujours observé sur un thermomètre elliptique de 8^{mm} environ de largeur et de $2^{mm},5$ d'épaisseur. Tous les effets secondaires dépendant de la constriction produisent sur cet appareil des mouvements de la colonne mercurielle inverses de ceux que l'on observe ordinairement.

II. — *Action de la chaleur sur les thermomètres métallisés.*

Il n'est pas difficile de prévoir ce qui arrive quand on élève la température d'un thermomètre métallisé. Soient c et c' les coefficients de dilatation du verre et du métal, a la valeur de la contraction galvanique à zéro, température où nous supposons que le dépôt s'est produit. A t degrés le volume extérieur U du thermomètre nu serait $U(1+ct)$; le volume intérieur du dépôt métallique supposé libre, $U(1-a)(1+c't)$ ou, aux quantités près du second ordre de grandeur, $U(1-a+c't)$. La pression P_t qui doit se produire est déterminée par l'équation

$$(15) \qquad P_t = \frac{a-(c'-c)t}{m+m'}.$$

1° En général, les métaux se dilatant plus que le verre, $c'-c$ est positif et la pression diminue à mesure que la température s'élève. Le thermomètre deviendra exact à la température pour laquelle P_t est égal à zéro, c'est-à-dire pour

$$(16) \qquad t = \frac{a}{c'-c}.$$

Cette température dépend de la grandeur de la contraction, c'est-à-dire de la qualité du métal; elle ne dépend pas de l'épaisseur du dépôt. Ce résultat a été vérifié par l'expérience.

Admettons que les coefficients de dilatation cubique c du verre, c' du cuivre, c'_1 du fer soient

$$c = 0,000025839,$$
$$c' = 0,000051546,$$
$$c'_1 = 0,000035463,$$

et supposons une contraction a égale à $\frac{1}{1000}$; on trouve, pour le cuivre et pour le fer :

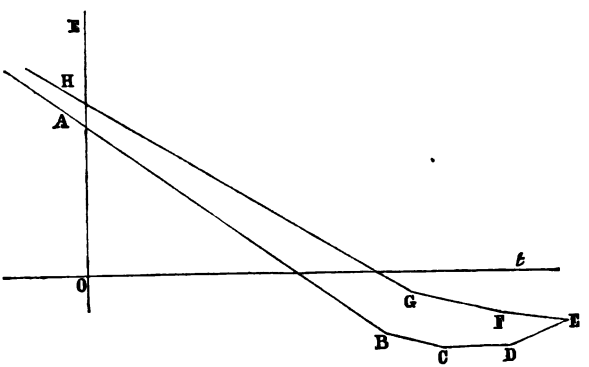
$$\text{Cuivre....} \quad t = \frac{0,001}{0,000025707} = 38^{\circ},90$$

$$\text{Fer.....} \quad t_1 = \frac{0,001}{0,000009624} = 103^{\circ},90$$

Ces nombres sont bien du même ordre de grandeur que ceux que l'on a effectivement observés.

2° Si dans la formule (15) on suppose $m + m'$ invariable, la pression est une fonction linéaire de la température ; il en est de même de l'excès thermométrique. Or, si l'on construit (*fig.* 2) une

Fig. 2.



courbe en prenant pour abscisses les températures, pour ordonnées les excès, les points correspondant aux diverses observations se placent rigoureusement sur une ligne droite AB. On doit en conclure que, dans les limites de température et de pression employées [1], les qualités physiques et mécaniques du verre et du métal n'éprouvent pas de variations altérant le chiffre des centièmes dans la valeur numérique des coefficients de dilatation et de compressibilité.

3° Toutefois, on ne peut obtenir de résultats bien concordants qu'en écartant toute variation brusque de température, surtout au delà du point où le thermomètre est exact. La pression exercée

[1] La température a varié dans les limites d'une quarantaine de degrés pour le cuivre, de plus de 70° pour le fer ou le nickel; la pression a varié de -10^{atm} à 50^{atm} et au delà.

par le métal se changeant alors en traction, des déchirures peuvent se produire au contact de l'argent et du verre, et c'est ce qui arrive en effet quand la traction dépasse notablement 10^{atm} à 12^{atm}. Alors les points de la ligne des excès se placent d'une manière tout à fait irrégulière, comme on le voit en BCDEFG, et les déformations produites ne disparaissent pas par le refroidissement. Les points correspondants fournissent la ligne FGHI, dont la portion HI est d'ailleurs parfaitement rectiligne. Si l'on échauffait le thermomètre sans précaution, par exemple par addition progressive d'eau bouillante dans un vase muni d'un agitateur, les déchirures commenceraient à se produire à des températures peu élevées, et le thermomètre présenterait, en se refroidissant, des excès différents de ceux de la période d'échauffement. C'est ce que l'on n'observe jamais quand on ne dépasse pas accidentellement le point B.

III. — *Particularités du nickel.*

M. Raoult [1] a découvert que le nickel poreux, employé comme électrode négative dans un voltamètre, absorbe de l'hydrogène en quantité très-considérable. Quand on l'abandonne ensuite à lui-même, l'hydrogène se dégage complétement en deux ou trois jours.

J'ai déposé du nickel poreux sur des thermomètres, en prenant pour électrode soluble des cubes de nickel poreux du commerce : la contraction est au moins aussi grande qu'avec le cuivre. Quand on fait absorber de l'hydrogène par un de ces thermomètres nickelés, il se rapproche de son indication normale ; mais, quand l'hydrogène se dégage, le nickel se contracte de nouveau et l'excès reparaît en totalité ou en partie, suivant l'état antérieur du nickel. On sait en effet que, quand on a répété plusieurs fois l'expérience de l'absorption de l'hydrogène, le métal finit par tomber en poussière.

Le nickel n'absorbe pas l'hydrogène libre en quantité appréciable, et, quand on lui fait absorber de l'hydrogène électrolytique, il semble qu'il s'établit un véritable équilibre mobile entre les quantités d'hydrogène absorbées et dégagées, car un courant de faible intensité ne suffit pas à saturer le métal.

Il est probable que le palladium présente des phénomènes ana-

---

[1] *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. LIX, p. 826; 1869.

logues, au point de vue de l'effet produit sur les thermomètres. Le platine ne donne rien de semblable.

On observe que les dépôts galvaniques ont toujours une certaine tendance à se déchirer. Quand on recouvre un thermomètre de nickel, de fer, de cobalt, il arrive souvent que le dépôt s'ouvre, comme une écorce qui se détache, et même se replie en dehors. C'est une conséquence de la grandeur des pressions auxquelles la couche métallique intérieure se trouve soumise; mais, dans le cas du nickel, il est impossible de ne pas attribuer à l'hydrogène un rôle spécial. J'ai observé que les déchirures ne se produisent qu'aux points où l'on voit apparaître quelques petites bulles de gaz : l'hydrogène provenant de la décomposition de l'eau est absorbé par le nickel, diminue par places sa résistance et favorise sa rupture. De là la nécessité de n'employer que des courants faibles et des dissolutions que l'on maintient concentrées à l'aide d'une électrode positive soluble. L'hydrogène paraît d'ailleurs tout aussi nuisible à la qualité des dépôts galvaniques même avec les métaux qui ne l'absorbent pas en quantité appréciable.

Deuxième Partie.

Phénomènes calorifiques.

I. — *Sur un phénomène analogue au phénomène de Peltier.*

On sait que, quand on décompose par la pile un sel dissous, les deux électrodes sont en général à des températures différentes, mais on n'a formulé à cet égard aucune loi précise; on s'est borné à invoquer des actions chimiques secondaires qui, produites indépendamment du courant, ne provoquent de variation de température qu'au lieu où elles s'effectuent.

Les thermomètres métallisés peuvent être employés avec succès à l'étude de la température des électrodes. On distinguera sans peine les effets calorifiques des effets de contraction précédemment étudiés aux caractères suivants : 1° ils diminuent par l'agitation du liquide ; 2° ils se produisent dans le même sens avec des thermomètres cylindriques ou avec des thermomètres aplatis, sur lesquels la contraction produit des effets inverses; 3° ils s'exagèrent, dans le rapport des dilatations, si l'on substitue aux thermomètres à mercure des thermomètres à air à réservoir métallisé.

Je considérerai d'abord le cas de l'électrolyse du sulfate de cuivre ou de zinc entre deux thermomètres recouverts du même métal. En employant une force électromotrice médiocre (un élément Bunsen par exemple), on constate que le thermomètre positif s'élève, que le thermomètre négatif s'abaisse au-dessous de la température du liquide ambiant. Ce dernier effet, un peu plus faible que le premier, peut être évalué à $\frac{1}{20}$ de degré environ. Si l'on renverse brusquement le sens du courant, le thermomètre, rendu négatif, baisse beaucoup plus vite que si l'on s'était borné à interrompre le courant. L'électrolyte peut être parfaitement neutre ou notablement acide, pourvu qu'il soit assez concentré pour qu'il n'y ait pas de décomposition de l'eau; le sens du phénomène n'est pas modifié.

Il y a donc au pôle positif, où le métal se dissout, une source permanente de chaleur; au pôle négatif, où il se dépose, une source de froid; l'une et l'autre paraissent très-sensiblement égales et proportionnelles à l'intensité du courant. La chaleur dégagée d'après la loi de Joule, c'est-à-dire proportionnellement à la résistance et au carré de l'intensité du courant, s'ajoute algébriquement à la chaleur dégagée ou absorbée par ces sources, de telle sorte que l'élévation de température au pôle positif est plus forte que la baisse au pôle négatif, et que, quand le courant est suffisamment énergique (trois ou quatre éléments Bunsen), cette baisse fait place à une élévation toujours plus faible qu'au pôle positif.

Pour interpréter ces phénomènes, il ne semble pas que l'on puisse avoir recours aux actions chimiques secondaires, lesquelles ne peuvent que produire de la chaleur, sauf le cas où elles s'accompagnent de dégagements de gaz. Or, dans l'électrolyse du sulfate de cuivre concentré produite par un élément Daniell, on ne voit pas de traces de décomposition de l'eau, et cependant la baisse au pôle négatif est très-nette. De plus, si l'on électrolyse, entre deux thermomètres cuivrés, de l'eau acidulée par l'acide sulfurique, on n'observe aux deux pôles, quelle que soit l'intensité du courant, qu'une très-faible élévation de température, jamais de baisse.

Il faut donc attribuer les phénomènes observés soit à l'action chimique principale, soit à une cause analogue à celle qui échauffe ou refroidit les soudures métalliques suivant le sens du courant qui les traverse.

Dans le premier cas, on admettra qu'une partie seulement de la

chaleur résultant de la dissolution du cuivre prend part à la production du courant, que celle-là seule se distribue dans les résistances interpolaires conformément à la loi de Joule, que l'excès se dégage aux abords immédiats de l'électrode positive et y produit un échauffement proportionnel à la quantité de cuivre dissous, c'est-à-dire à l'intensité du courant. On conçoit alors que le courant ne pourra fournir à l'électrode négative une quantité de chaleur équivalente à celle qui est absorbée par le dépôt de cuivre; le reste sera emprunté au liquide ambiant sous forme de chaleur sensible, d'où le refroidissement observé. On remarquera que cette explication ne se suffit pas à elle-même, car il faudrait recourir à des hypothèses nouvelles pour déterminer la proportion suivant laquelle doit se faire le partage de la chaleur utilisée par le courant et de la chaleur locale, aux dépens d'une action chimique considérée à tort ou à raison comme simple.

Si l'on assimile la surface de contact cuivre-sulfate de cuivre à une soudure métallique qui s'échaufferait quand le courant passe du cuivre au sulfate, se refroidirait quand il passe du sulfate au cuivre, on est conduit à admettre qu'entre deux lames de cuivre, l'une chaude, l'autre froide, toutes deux placées au sein du sulfate de cuivre, il doit se produire un courant thermo-électrique, et que le cuivre chaud est à l'extérieur le pôle positif. Or l'existence de ce courant, se produisant dans le sens privé, a été constatée par divers expérimentateurs dont je vais rapporter sommairement les observations.

M. Pacinotti [1] prit deux vases de cuivre sans soudure, les disposa concentriquement et remplit l'intervalle d'une solution concentrée d'azotate de cuivre. Refroidissant ensuite le vase extérieur dans de la glace, tandis que le vase intérieur était échauffé par un courant de vapeur, il constata l'existence d'un courant dirigé à l'extérieur du cuivre chaud vers le cuivre froid; la force électromotrice, mesurée par la méthode de Ohm, croissait assez régulièrement avec la différence des températures. En remplaçant les vases de cuivre par des vases de zinc, l'azotate de cuivre par du sulfate de zinc, il trouve une force électromotrice encore plus considérable, qu'il croit pouvoir évaluer à celle de 1 élément Daniell quand on établit entre les deux vases une différence de température de 180°. Le pôle chaud est le pôle positif.

---

(1) Pacinotti, *Cimento*, t. XIX, p. 234; 1865.

M. Ed. Becquerel (1) a constaté que, quand on porte deux lames métalliques à des températures différentes au sein d'une dissolution du même métal, il se produit un courant thermo-électrique et que le métal chaud est le pôle positif à l'extérieur. Pour le cuivre et le sulfate de cuivre et une différence de température de 100°, la force électromotrice ainsi développée serait 0,054 de Daniell.

M. Bleekrode (2) employa deux verres à expérience réunis par un siphon : l'un était refroidi dans la glace, l'autre chauffé dans une étuve, tous deux remplis d'une même solution métallique et pourvus d'électrodes du métal dissous. La force électromotrice du système fut mesurée par la méthode de Fechner. Le courant va du pôle chaud au pôle froid à l'extérieur ; avec le sulfate de cuivre, le chlorure de zinc, l'acétate d'argent, la force électromotrice croît assez rapidement avec la température.

L'existence bien constatée de ces courants thermo-électriques implique les phénomènes d'échauffement et de refroidissement des surfaces de contact, tels que je les ai observés, et en fournit une explication complète, indépendante de l'action chimique. Toutefois, il faut bien reconnaître qu'il est impossible de faire passer un courant du cuivre au sulfate de cuivre, ou inversement, sans transporter du cuivre de l'électrode positive à l'électrode négative; la double action chimique d'où résulte ce transport est pratiquement inséparable de l'effet Peltier, comme l'électrolyse est inséparable de la conductibilité électrique des liquides. Le phénomène que j'observe est donc plus compliqué que celui qui se produit à la surface de contact de deux métaux; mais, puisque tous deux sont proportionnels à l'intensité du courant et réversibles, il est légitime de les rapprocher, comme on réunit, au point de vue de la chaleur dégagée par le courant, la conductibilité métallique et la conductibilité électrolytique.

II. — *Effets de la polarisation des électrodes.*

Dans les cas particuliers qui viennent d'être examinés, les ac-

---

(1) Ed. Becquerel, *Ann. de Ch. et de Phys.*, 4e série, t. VIII, p. 392; 1866. M. Pellat a trouvé tout récemment, pour la force thermo-électrique de contact entre le cuivre et le sulfate de cuivre, un nombre presque identique à celui de M. Ed. Becquerel.

(2) Bleekrode, *Ann. de Pogg.*, t. CXXXVIII, p. 571; 1869.

tions chimiques secondaires n'ont pas d'influence marquée; mais il est bien clair qu'il peut en être autrement quand l'électrolyse est accompagnée de dégagements gazeux et que la polarisation est énergique. L'expérience montre alors qu'il faut distinguer l'effet thermique initial dépendant de l'état antérieur des électrodes, et l'effet permanent en général beaucoup moins accusé : il n'est d'ailleurs nullement évident, *a priori*, que les deux électrodes polarisées en sens inverse doivent toujours être assimilées à une soudure métallique *unique*, parcourue par le courant dans deux directions opposées, plutôt qu'à deux soudures distinctes. Des expériences comparatives sur les effets thermo-électriques et électro-thermiques pourraient seules élucider la question.

Malheureusement, les expériences de thermo-électricité que l'on possède, en dehors de celles qui ont été signalées ci-dessus, ont été faites dans des conditions qui ne permettent pas de distinguer assez nettement l'effet initial de l'effet permanent, d'où il résulte qu'elles sont parfois contradictoires entre elles. Nobili (1), Walker (2), Henrici (3) se sont bornés à plonger dans l'électrolyte deux lames (de platine par exemple) chauffées d'avance à des températures différentes; Faraday (4) plongeait les deux lames, à la même température, dans les deux branches inégalement chaudes d'un tube en U, contenant l'électrolyte. Ni l'une ni l'autre méthode ne sont correctes, et les résultats qu'elles ont fournis ne peuvent servir qu'à titre d'indications préliminaires et provisoires.

Je me bornerai à dire qu'il y a, en général, concordance entre le sens indiqué du courant thermo-électrique et l'effet thermique *permanent* que j'observe aux deux électrodes. Dans tous les cas bien constatés, c'est le métal chaud qui est à l'extérieur le pôle positif (tout au moins tant que la température des surfaces de contact ne s'écarte pas beaucoup de la température ordinaire); c'est aussi le pôle positif qui se trouve le plus chaud dans toutes celles de mes expériences où il est possible de constater à coup sûr une différence entre les températures permanentes des électrodes.

---

(1) Nobili, *Schweigg. Journ.*, t. LIII, p. 273; 1828.
(2) Walker, *Ann. de Pogg.*, t. IV, p. 327; 1825.
(3) Henrici, *Ann de Pogg.*, t. LXXIX, p. 171 et 473; 1850.
(4) Faraday, *Experimental researches*, 17e série; 1839 à 1852.

Je terminerai en indiquant, dans quelques cas remarquables, le sens du phénomène initial, parfois très-différent de l'effet permanent.

Quand on électrolyse de l'eau acidulée par l'acide sulfurique[1] entre deux thermomètres recouverts de platine et non polarisés, on observe au pôle positif une élévation de température très-considérable, tandis qu'au pôle négatif il n'y a qu'un échauffement faible ou nul, suivant l'intensité du courant employé. Tel est l'effet permanent. Mais, quand le thermomètre platiné que l'on place au pôle négatif a servi pendant quelque temps d'électrode positive, il commence par baisser très-notablement (parfois de plus de $\frac{1}{5}$ de degré) au-dessous de la température du liquide ambiant; cet effet peut même se reproduire sept ou huit fois de suite, bien qu'avec une intensité décroissante, si l'on ouvre et ferme alternativement le circuit, en ayant soin d'agiter le liquide dans les intervalles. Si l'on remplace l'acide sulfurique par l'acide chlorhydrique, l'effet définitif est très-faible aux deux pôles, mais ils s'échauffent très-fort à chaque inversion; enfin, avec le chlorure de platine, on observe à chaque renversement du courant un refroidissement de l'électrode positive, qui, à l'état permanent, est la plus chaude, un fort échauffement de l'électrode négative, qui est normalement la plus froide.

Le sulfate double d'ammoniaque et de nickel, électrolysé entre deux thermomètres nickelés, donne à chaque inversion un très-fort échauffement des deux pôles. Tant que dure cet effet, le dégagement gazeux dont les électrodes sont le siége est suspendu; il reprend avec énergie au bout de peu d'instants, et les deux électrodes reviennent à des températures peu différentes de celles du liquide, le thermomètre positif demeurant toujours le plus chaud. Je rappelle que le nickel absorbe de l'hydrogène et donne lieu à un phénomène particulier de constriction étudié ci-dessus. Il est évident que les dégagements de chaleur constatés au moment de l'inversion du courant tiennent à la combinaison des gaz occlus dans le métal; c'est pourquoi le dégagement est suspendu pendant cette période.

---

(1) Eau acidulée au $\frac{1}{10}$.

William Grosseteste
Ingénieur

SÉANCE DU 6 JUIN 1879.

PRÉSIDENCE DE M. MASCART.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 2 mai est lu et adopté.

M. le comte L. Hugo adresse une Note sur une propriété caractéristique de la base numérale dix.

M. Gariel présente, au nom de M. Silvanus P. Thompson, de nouvelles expériences d'illusion optique.

M. Duboscq rappelle d'anciennes expériences de M. Plateau à peu près identiques à celles de M. S. Thompson.

M. Javal explique les apparences qui viennent d'être signalées par un mouvement rapide de l'œil qui, pour observer un mouvement, suit pendant un instant l'objet mobile et se porte brusquement en arrière.

M. Bouty expose les travaux de MM. du Bois-Reymond, Hermann, Weber et Helmholtz sur les modifications apportées par la transmission téléphonique.

M. Kœnig rend compte des expériences qu'il a entreprises pour décider quelles sont ces modifications.

M. Brisac décrit et fait fonctionner le nouveau brûleur à gaz pour l'éclairage de la rue du Quatre-Septembre. Il est formé de six becs papillons dont les flammes se touchent et sont disposées en cercle au centre de la lanterne. Une sorte de coupe à double paroi, placée au-dessous des becs, est disposée pour produire un double courant d'air intérieurement et extérieurement à la couronne lumineuse et remplacer ainsi la cheminée des lampes à gaz ordinaires. Un bec en veilleuse de très faible débit demeure perpétuellement allumé; un robinet extérieur à la lanterne permet soit de mettre en activité la couronne des six becs, soit de leur substituer, après minuit, un bec central unique identique aux becs de gaz ordinaires de la ville de Paris.

Sur une nouvelle illusion d'optique; par SILVANUS P. THOMPSON, professeur de Physique à l'University College de Bristol.

Au mois de septembre 1877, nous avons présenté à l'Association britannique, à Plymouth, un Mémoire sur quelques nouvelles illusions d'optique, dont la plupart se rapportaient à des effets de mouvement subjectif et illusoire. Depuis cette époque-là, nous avons poursuivi ce Travail encore plus loin, et nous avons perfectionné les moyens de produire la plus importante de ces illusions de mouvement auxquelles notre Mémoire de 1877 était consacré.

L'illusion dont nous parlons est très simple, mais en même temps très saisissante. Nous nous empressons d'abord de décrire la forme la plus simple dans laquelle elle existe.

I. On fait dessiner en noir sur une carte de visite une série de cercles concentriques, de $0^m,001$ de largeur environ, séparés par des intervalles blancs de même largeur. Ces dimensions n'ont rien d'absolu, et, s'il s'agit de montrer le phénomène à un auditoire nombreux, la largeur de chaque cercle peut être augmentée jusqu'à plusieurs centimètres. Il y a pourtant toujours une largeur particulière qui convient mieux à chaque distance.

Si, tenant ce dessin à la main, on vient à lui imprimer, par un léger déplacement circulaire du poignet, un mouvement circulaire dans son plan, le système de cercles paraît tourner autour de son centre, et cette rotation illusoire s'effectue dans le sens du mouvement réel et avec la même vitesse angulaire, c'est-à-dire que, tandis que toute pointe de la figure accomplit son mouvement de translation dans un petit cercle, le système paraît avoir fait une rotation entière autour de son centre.

Cette illusion réussit le mieux lorsque les cercles sont bien définis et que les blancs sont de même largeur que les noirs. Pour que l'effet soit très net, il convient de regarder le cercle pendant son mouvement en fixant le regard, non pas sur le cercle lui-même, mais sur un point voisin.

J'ai fait construire plusieurs figures de cette espèce avec des lignes courbées, elliptiques, circulaires, concentriques et excen-

triques. Elles montrent presque toutes ce phénomène de rotation illusoire.

Un de ces systèmes consiste en un seul cercle noir, à l'intérieur duquel sont figurées un certain nombre de dents régulièrement espacées. En opérant comme nous avons dit plus haut, cette sorte de roue dentée paraît tourner lentement sur son centre, mais cette fois en sens contraire du mouvement réel. Il paraît s'avancer par l'espace angulaire d'une dent pour chaque mouvement complet de la main. Ici encore l'effet est plus satisfaisant quand on ne regarde pas directement le dessin. On peut aussi réunir les cercles concentriques avec des roues dentées dans plusieurs combinaisons qui montrent à la fois les rotations dans les deux sens.

J'ai donné le nom de *cercles strobiques* (*strobic circles*) à ces systèmes tournants.

A l'aide des photographies sur verre, j'ai pu projeter ces dessins sur un écran, où ils étaient obtenus à une très grande échelle. Le petit mouvement circulaire est communiqué à la plaque photographique avec un petit appareil construit par M. Duboscq, de telle sorte que le dessin se meut circulairement sur l'écran. Dans ce cas, on obtient encore l'illusion, chaque cercle semblant tourner autour de son centre.

II. L'explication de ce phénomène qui se présente d'abord repose sur la propriété que possède la rétine de conserver les images pendant un certain temps. Dans cette expérience, on réussit le mieux quand le rayon du mouvement est égal à la largeur d'un cercle noir ou blanc. En ce cas, chaque cercle est déplacé successivement d'une distance égale à sa largeur dans toute direction autour de son centre. L'œil, ne pouvant fixer aucune tache sur le cercle, ne reconnaît pas que le déplacement n'est qu'une translation circulaire et croit regarder un cercle tournant un peu excentriquement autour d'un point.

Mais je pense qu'il est permis de douter que la persistance des impressions rétiniennes puisse expliquer complètement tous les effets.

Si cet effet est seulement un effet de persistance de vision, pourquoi arrive-t-il que l'on réussit mieux quand le système de cercles se trouve à une certaine distance de l'œil, car on trouve assez vite

que, si les cercles sont très rapprochés, il ne faut pas les regarder de trop loin? Ou encore comment arrive-t-il que le phénomène réussit mieux en fixant le regard sur quelque point voisin?

Sans en vouloir donner une théorie complète, je pense que l'on doit rapprocher de ces phénomènes d'autres qui ont été signalés, au moins en partie, il y a longtemps.

J'ai souvent remarqué que, si l'on fait tourner, comme il a été dit, un système de cercles, en regardant avec l'œil d'autres cercles voisins qui sont réellement fixes, ces derniers semblent aussi tourner autour de leurs centres.

MM. Brewster et Adams ont décrit, il y a trente ans, des apparences assez curieuses qui se rapprochent beaucoup de ce dernier phénomène. J'ai fait plusieurs expériences pareilles, que j'ai décrites dans mon Mémoire de 1877, et qui se trouvent dans le *Monthly Journal of Science* du mois de mars 1879.

Il semble qu'il existe dans l'œil un effet de nature mal définie qui arrive à faire *compensation,* comme disait Brewster, au phénomène réel, parce qu'il est de sens contraire. C'est un effet qui persiste pendant un certain temps après la cessation du phénomène et qui, avant cette cessation ou dès lors, donne seul une sensation de mouvement inverse.

Ainsi, après avoir fixé les yeux pendant deux ou trois minutes sur l'eau qui tombe d'une cascade, si l'on vient brusquement à porter les regards sur des rochers voisins, ceux-ci paraissent se mouvoir de bas en haut. Dans un fleuve rapide, le Rhin, par exemple, au-dessus de la chute de Schaffhouse, les eaux n'ont pas partout la même vitesse, et le courant est beaucoup plus rapide dans la partie médiane que près du rivage. Si, après avoir regardé fixement pendant plusieurs moments la partie centrale, on dirige subitement les yeux sur l'eau qui coule près des bords, il semble que l'eau remonte vers la source. Cette espèce de *compensation* ne semble pas seulement produire des phénomènes de déplacement et de rotation, mais elle peut également produire des changements de grandeur apparente. Si, assis dans un train marchant à grande vitesse, on regarde fixement la campagne qui semble fuir, les objets qui s'éloignent forment sur la rétine des images qui deviennent toujours de plus en plus petites. Il y a un mouvement des images rétiniennes vers le centre de la rétine de tous côtés. Si, dans ces

conditions, on porte brusquement les regards à l'intérieur du wagon sur des objets qui sont immobiles là-dedans, soit les parois, soit même la figure d'un compagnon de voyage, les images rétiniennes conserveront réellement la même grandeur, et cependant ces objets paraîtront croître et se rapprocher.

Il me semble que toute théorie complète de l'illusion de cercles strobiques que je viens de signaler doit aussi tenir compte de ces phénomènes de compensation ou de mouvement complémentaire subjectif.

Note sur la Communication précédente; par M. Javal.

L'œil, pour observer un mouvement, suit pendant un instant l'objet mobile et se porte brusquement en arrière. Cette oscillation fréquemment répétée, est liée à la sensation du mouvement dans un certain sens; quand l'œil se porte ensuite sur un objet immobile, il conserve d'abord le mouvement dont il avait pris l'habitude, et l'on attribue à l'objet une vitesse de signe contraire à celle qu'on veut observer. On peut citer, entre autres phénomènes curieux, l'apparence offerte à l'observation ophtalmoscopique par l'œil d'une personne atteinte de *nystagmus :* cette affection consiste en mouvements continuels et rapides de l'œil; la rétine paraît en conséquence animée d'un mouvement vibratoire dont l'explication est identique à celle du mouvement apparent des cercles de M. S. Thomson.

Recherches sur la différence de phase qui existe entre les vibrations de deux téléphones associés; par M. R. Koenig.

Les expériences que je vais faire connaître ont été instituées dans le but de rechercher la différence de phase qui existe entre les membranes vibrantes de deux téléphones réunis selon le mode usité pour la transmission des dépêches. Cette différence a fait l'objet de diverses recherches qui ont été analysées dans le *Journal de Physique* (1).

---

(1) Voir *Journal de Physique,* t. VIII, p. 168 à 175.

D'après M. du Bois-Reymond, le mouvement de la membrane du téléphone récepteur n'est pas en concordance avec celui de la membrane du téléphone expéditeur. Les deux mouvements sont en désaccord d'un quart de vibration. De plus les mouvements pendulaires dont se compose un son complexe se reproduisent sans conserver les grandeurs relatives de leurs amplitudes. Par la transmission téléphonique l'intensité des sons graves est diminuée dans une proportion plus forte que celle des sons aigus. D'après M. F. Weber et Helmholtz, les différences de phase et d'intensité seraient très petites et négligeables.

Il importait de donner une méthode expérimentale qui permît de reconnaître la vérité : c'est ce que j'ai entrepris.

I. Deux diapasons A′ et B′, accordés parfaitement à l'unisson, sont placés vis-à-vis des électro-aimants des téléphones A et B, dont ils remplacent les plaques vibrantes. Chaque diapason repose sur un coussin isolant et la distance qui les sépare est suffisamment grande pour que l'un ne puisse pas influencer l'autre. Les téléphones A et B étant réunis à la manière ordinaire, on attaque avec un archet le diapason A′, par exemple : l'oreille placée dans le voisinage de B′ entend immédiatement vibrer ce diapason, dont les amplitudes sont assez grandes. Les vibrations des diapasons A′ et B′ durent assez longtemps pour que l'on puisse les étudier avec le comparateur optique de M. Lissajous (¹). Le diapason de ce comparateur avait été accordé à l'octave grave des diapasons A′ et B′. Les figures optiques observées prouvaient une différence de phase de $\frac{1}{4}$ de vibration.

Ce mode d'expérimentation exige une grande habileté, car on est obligé d'observer les figures optiques sur les deux diapasons avec le comparateur sans attaquer le diapason entre les deux expériences. Il est nécessaire d'opérer dans un temps relativement court, et cependant il faut chercher sur le deuxième diapason un point lumineux que l'on ne trouve généralement pas tout de suite. Aussi ai-je donné à cette expérience une forme plus pratique et qui n'offre plus de difficultés d'observation. Sous cette forme les deux diapasons téléphoniques portent des miroirs et sont placés dans la

(¹) *Journal de Physique*, t. III, p. 265.

position qui permet d'obtenir les figures de Lissajous. On fait alors vibrer l'un d'eux; l'autre se met à vibrer comme dans l'expérience précédente, et la figure résultante est invariablement une ellipse dont les deux axes sont parallèles aux vibrations des diapasons. Or on sait que c'est précisément la figure qui correspond au rapport de l'unisson avec différence de phase de $\frac{1}{4}$.

Les deux diapasons employés étaient, dans la première expérience, $ut_3 = 512$ vibrations; dans la seconde, $sol_1 = 192$ vibrations. Les amplitudes relatives du diapason influencé par l'aimant du téléphone étaient moindres dans le second cas que dans le premier, ce qui résulte évidemment de ce que le nombre d'impulsions dans le premier cas est beaucoup plus grand que le dernier.

II. Il s'agissait maintenant de savoir si les harmoniques contenus dans un son musical présentent, comme les sons fondamentaux, une différence de $\frac{1}{4}$ de phase lorsqu'on compare les vibrations de deux téléphones, émises par l'un et transmises à l'autre. Il eût été évidemment fort difficile d'obtenir un mouvement sonore composé, par exemple, de huit harmoniques avec des différences de phase données. Mais il était permis de supposer que le huitième harmonique produirait exactement le même effet, soit qu'il existât seul dans le timbre du son fondamental, soit qu'il y fût associé aux harmoniques 2, 3, ..., 7. Il suffisait dès lors de produire un mouvement sonore composé seulement de deux sons connus, pouvant agir sur un téléphone, et ensuite, à volonté, de faire naître dans un second téléphone l'un ou l'autre de ces deux sons.

A cet effet, j'ai fixé deux diapasons ut_4 aux extrémités des branches d'un fort diapason qui, ainsi chargé, donnait exactement l'ut_1, de sorte que je pouvais, à volonté, produire les sons 1 et 8, à la fois ou séparément. Ce diapason composé était placé devant un téléphone de manière qu'il présentait à l'aimant l'extrémité de l'un des petits diapasons ut_4, et devant l'aimant d'un second téléphone était placé un diapason ut_4 ordinaire.

En observant à l'aide du comparateur optique ut_1, il eût été difficile de reconnaître la phase du son 8 par l'inspection de la figure compliquée que donne la composition rectangulaire du son 2 avec les sons 1 et 8; mais j'ai pu me convaincre que les vibrations du son 8 ne changent pas de phase lorsque, dans le mouvement

sonore composé des sons 1 et 8, on supprime brusquement le son 1 en appliquant le doigt sur l'une des branches du grand diapason. Pour m'en assurer, j'ai d'abord examiné la phase du petit diapason ut_4 vibrant seul, quand l'intervalle qu'il formait avec le comparateur était assez pur pour que la figure optique restât parfaitement fixe et sans trace de rotation; puis j'ai ébranlé à son tour le grand diapason, pour l'arrêter ensuite au bout de quelques secondes, de sorte qu'il n'y avait plus en mouvement que le diapason ut_4, et j'ai toujours constaté que la figure optique n'avait subi aucun changement.

Comme, pour obtenir le mouvement composé des sons 1 et 8, il faut d'abord ébranler le diapason ut_4, puis le diapason ut_1, les vibrations du premier auraient pu provoquer celles du diapason correspondant, placé devant le second téléphone, avant que le mouvement composé eût eu le temps de s'établir; pour éviter cet inconvénient, j'ai toujours eu soin de ne fermer le circuit qu'après que le grand diapason avait commencé à vibrer à son tour.

Voici comment se faisait ensuite l'observation. Le comparateur optique était d'abord disposé en face du diapason ut_4, qu'il s'agissait d'influencer; puis j'ébranlais les deux parties du diapason composé, je fermais le circuit, et je donnais un coup d'archet sur le diapason du comparateur. Dès que j'avais suffisamment examiné la figure optique du diapason influencé, je mettais rapidement le comparateur en face du diapason ut_4 qui vibrait avec le grand diapason, et j'en examinais également la figure optique, après avoir arrêté le mouvement du diapason ut_1. J'ai pu constater de cette manière qu'entre les vibrations des deux diapasons ut_4 il y avait encore une différence de $\frac{1}{4}$ de phase.

III. Lorsqu'on introduisait une petite bobine d'induction dans le circuit qui reliait les deux téléphones, devant lesquels étaient montés les deux diapasons sol_1, munis de miroirs, les vibrations du diapason influencé étaient trop faibles pour qu'il fût possible d'observer la figure optique avec quelque succès. A la vérité, le trait lumineux vertical, fourni par le diapason qui était excité directement, semblait s'incliner légèrement, et se redresser ensuite quand les vibrations de l'autre diapason étaient arrêtées; mais le phénomène n'était pas assez net pour être décisif.

Les résultats ont été plus satisfaisants avec le comparateur optique; cependant les vibrations du diapason influencé étaient toujours très petites, même sous le microscope, de sorte que l'observation était d'une grande difficulté. Pour obtenir avec ce diapason une figure optique suffisamment nette, il fallait que les vibrations du diapason du comparateur fussent également assez petites, et, pendant qu'on disposait ensuite ce dernier en face du diapason excité directement, leur amplitude avait le plus souvent diminué à tel point qu'il en résultait une figure optique dont les deux dimensions étaient trop inégales pour qu'il fût possible de reconnaître la différence de phase avec certitude.

Dans ces conditions, il n'y a pas lieu de s'étonner que je n'aie pas toujours obtenu des résultats parfaitement concordants. En effet, la différence de phase paraissait quelquefois ne pas dépasser $\frac{1}{4}$, mais elle approchait encore plus souvent de $\frac{1}{2}$, et semblait en général comprise entre ces deux limites.

Comme il suffit que la tonalité d'un des diapasons soit altérée d'une quantité égale à une très petite fraction d'une vibration simple, pour imprimer à la figure optique une rotation qui rendrait impossible toute détermination de la différence de phase entre deux diapasons qu'on ne peut observer simultanément, et que de légères altérations de ce genre surviennent facilement, par exemple à la suite d'une faible variation de température, on ne saurait, dans ces sortes d'expériences, se contenter d'accorder les diapasons une fois pour toutes. Il est indispensable de les vérifier avant chaque expérience et de corriger par un peu de cire la moindre altération des rapports de vibrations rigoureux.

Système de lampe électrique à incandescence;
par M. Émile Reynier.

(Séance du 16 avril 1879.)

On se rappelle [1] que le dispositif original de mon système de lampe à incandescence consiste essentiellement en une baguette

---

[1] *Société française de Physique*, séance du 17 mai 1878.

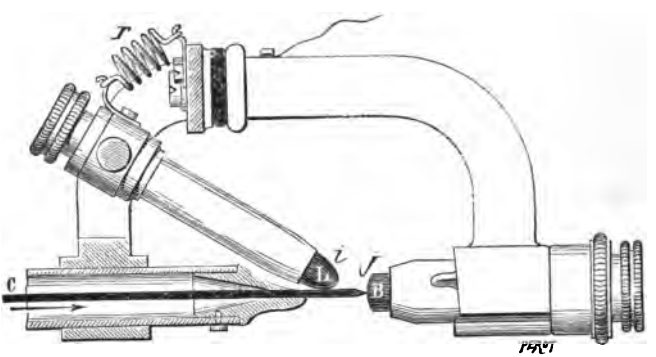
de carbone C (*fig.* 1), rendue incandescente, par le passage d'un courant électrique, entre un *contact en bout* B et un *contact latéral* L, et qui progresse en glissant dans celui-ci de manière à buter toujours sur celui-là.

Fig. 1.

Sur ce principe, j'ai successivement construit divers modèles de lampe à incandescence, pour arriver, de perfectionnement en perfectionnement, au brûleur simple et sûr adopté aujourd'hui.

Ce nouveau *bec* est représenté *fig.* 2. Le charbon C, poussé

Fig. 2.



dans le sens de la flèche par un mécanisme quelconque, bute sur le contact en bout B; le contact latéral L, monté à l'extrémité d'un levier, s'appuie sur le charbon par le tirage d'un ressort à boudin *r* et limite entre *i* et *j* l'incandescence de la baguette.

Le contact en bout est serré dans un porte-contact fixé à bayonnette dans la douille inférieure du bec. Pour introduire le charbon

dans la lampe, on retire ce porte-contact, qui laisse libre l'orifice du tube; on pousse le charbon dans ce tube, puis on remet en place le contact en bout, et la lampe est prête à fonctionner.

La valeur photométrique de l'appareil varie de cinq à vingt becs Carcel, selon la longueur d'incandescence qu'on se donne et l'énergie de la source électrique employée. Par exemple, avec une pile de huit couples Bunsen plats (modèle Ruhmkorff), on obtient une lumière de dix à douze becs, utilisable pour des expériences d'Optique.

Avec des électromoteurs puissants, tels que les machines magnéto-électriques employées actuellement dans l'industrie, on peut illuminer un nombre de lampes à incandescence relativement grand et réaliser ainsi un *fractionnement* de lumière avantageux [1].

SÉANCE DU 20 JUIN 1879.

PRÉSIDENCE DE M. MASCART.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 6 juin est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. Bailly, professeur de Physique au Lycée de Pau;
Boulard, ingénieur à Paris;
Claverie, professeur de Physique au Lycée d'Angoulême;
Lachèz, architecte à Paris;

M. Fontaine offre à la Société son Ouvrage sur l'*Éclairage à l'électricité* et communique les résultats des mesures photométriques qu'il a effectuées pour comparer entre elles les machines

---

[1] A notre dernière séance de Pâques, j'ai illuminé la façade de l'hôtel de la Société d'Encouragement avec une rampe de *vingt-sept lampes* à incandescence, actionnées par trois machines Gramme (neuf lampes par circuit). Chaque lampe valait environ dix becs Carcel. La force motrice dépensée était de huit chevaux, soit 22^{kgm} par foyer de dix becs.

magnéto-électriques à courants continus et à courants alternatifs.

M. Fontaine a représenté graphiquement la distribution de la lumière émise suivant diverses inclinaisons, par une courbe plane tracée en coordonnées polaires.

M. Mascart ne pense pas que la moyenne arithmétique des intensités dans un plan méridien détermine la quantité de lumière émise dans toutes les directions. M. Cornu dit que cette quantité pourrait être représentée par la masse d'une surface sphérique concentrique au bec et dont chaque point aurait une densité proportionnelle à l'éclat de la lumière qui y tombe normalement.

M. Thollon présente un spectroscope à grande dispersion, fournissant un spectre solaire de 15^m de longueur. Il montre un dessin du spectre solaire d'une longueur totale de 10^m et exécuté par lui au moyen d'une nouvelle méthode d'enregistrement. La tête de la vis qui sert à mettre les prismes à la déviation minimum et à mener chaque raie sous la croisée du réticule a été construite en forme de poulie à gorge. Dans cette gorge, repose une bande de papier sans fin qui défile lorsqu'on tourne la vis, sous un crayon qu'on fait mouvoir parallèlement à l'axe au passage de chaque raie. M. Thollon a inscrit plus de quatre mille raies, tandis que Angström n'en avait guère noté que seize cents. Cet accroissement tient d'une part à l'apparition de raies très fines invisibles avec une dispersion moins grande, d'autre part au dédoublement de certaines raies métalliques. M. Thollon dit que le dédoublement des raies d'un même métal n'est pas indéfini, fait favorable à l'hypothèse des vibrations harmoniques; voisines, elles appartiennent à deux métaux différents. Ces dédoublements peuvent jeter un doute sur certaines inductions de M. Lockyer, qui a pu croire communes à deux métaux des raies très voisines, mais distinctes, les raies métalliques s'élargissant sensiblement quand la dispersion augmente.

M. Gariel communique, au nom de M. Silvanus P. Thompson, l'étude faite par ce physicien de l'aimantation de la plaque du téléphone. Au moyen des spectres magnétiques, il a trouvé que les lignes de forces sont à peu près normales au centre de la plaque, à peu près tangentes vers les bords.

M. Cornu fait part à la Société de ses recherches sur la limite ultra-violette du spectre solaire. Ce spectre est limité vers le violet

par une absorption que nous sommes impuissants à faire disparaître : c'est l'absorption par l'atmosphère. Si l'on compare le spectre solaire du fer avec le spectre de ce métal fourni par l'arc électrique, on trouve qu'il y a coïncidence et proportionnalité pour toutes les parties des deux spectres, qui sont identiques à l'intensité près. Mais, aux environs des raies appelées par M. Cornu T et U, le spectre solaire se montre brusquement couvert d'un voile, qui est précisément la bande d'absorption atmosphérique. Cette bande, qui limite le spectre, recule quand la hauteur du Soleil augmente. La longueur d'onde qu'on peut atteindre diminue proportionnellement au logarithme du sinus de la hauteur solaire; en portant pour un même jour cette longueur en abscisses, ce logarithme en ordonnées, on obtient une ligne droite : d'une saison à l'autre cette droite se déplace quelque peu parallèlement à elle-même. En changeant de latitude ou même d'altitude, on gagne peu de chose. M. Cornu a calculé qu'en s'élevant à une hauteur de 4000^{m} l'observateur ne gagnerait que six ou sept unités sur la longueur d'onde extrême, qui est de 293 millionièmes environ. Les poussières en suspension dans l'atmosphère n'ont qu'un faible pouvoir absorbant

M. Lacoine, ingénieur à Constantinople, adresse une Note sur l'établissement de la formule relative au rayon d'action des paratonnerres.

Avantages des courants continus pour l'éclairage électrique; par M. Hippolyte Fontaine.

La mesure d'intensité d'un foyer électrique a été jusqu'à ce jour faite de diverses manières, suivant le but que poursuivait l'opérateur. Pour l'éclairage des ateliers, on a coutume de mesurer la lumière envoyée horizontalement dans toutes les directions ; pour les phares, on évalue la puissance des foyers en envoyant, autant que possible, toute la lumière du côté du réflecteur. Tout naturellement, les résultats obtenus ainsi ne sont pas comparables entre eux.

Lorsqu'il s'agit d'évaluer la lumière produite par incandes-

cence ou par arc voltaïque provenant de courants alternatifs, on peut se placer de manière que le photomètre, la lampe Carcel et le foyer électrique soient dans un même plan horizontal. On obtient ainsi des résultats comparables à ceux obtenus en mesurant l'intensité des lampes à huile. Mais quand on est en présence d'un régulateur à charbons verticaux, alimenté par une machine à courants continus, les choses ne doivent pas se passer ainsi, car l'avantage serait considérable en faveur des lampes Carcel.

Les flammes des lampes Carcel sont en effet transparentes, et leur disposition est telle qu'elles donnent leur maximum d'intensité dans le plan horizontal. Ce n'est pas le cas de la lumière électrique produite par des courants continus. L'hypothèse qui l'assimile à une petite sphère lumineuse d'un centimètre de diamètre n'est pas conforme à la réalité. Le charbon supérieur se creuse et le charbon inférieur se taille en pointe; la lumière émane d'une petite coupe lumineuse appliquée contre un corps opaque, et dont la forme et la position varient avec l'intensité et le sens du courant. La quantité de lumière reçue par l'observateur dépend de l'angle sous lequel il voit la coupe lumineuse, et, si l'on considère un cercle tracé dans le plan des charbons, avec la coupe pour centre, chaque point de la circonférence de ce cercle recevra des quantités de lumière différentes. Pour avoir des mesures comparables, il faut ou prendre la moyenne des mesures obtenues sur toute la circonférence, aussi bien dans la lampe Carcel que dans le régulateur électrique, ou mesurer la lumière dans la direction où elle est le plus intense. Or, l'expérience a prouvé que l'intensité maximum d'un foyer électrique a lieu dans une direction faisant un angle de 50° à 60° avec le plan horizontal; ce serait donc sous cet angle qu'il faudrait mesurer sa lumière.

Il est bon de faire remarquer que l'inégalité des quantités de lumière émises dans des directions différentes n'est pas un fait spécial aux foyers électriques, et que, suivant M. Allard, une lampe à huile, mesurée dans une direction inclinée de 50° au-dessous de l'horizon, ne donne que 0,20 de la lumière qu'elle donne dans le plan horizontal [1]. La quantité de lumière a donc,

---

[1] *Mémoire sur l'intensité et la portée des phares*, p. 210; 1878.

dans un cas comme dans l'autre, un maximum, avec cette différence que ce maximum existe, avec la flamme à huile, sur le plan horizontal, et ,avec le foyer électrique, à la surface du cône dont la génératrice est inclinée d'environ 60° au-dessous ou au-dessus du plan horizontal, suivant que le charbon positif est au-dessus ou au-dessous de l'autre.

Dans les ateliers de construction et dans la plupart des applications industrielles, les lampes et les régulateurs étant placés dans une position assez élevée par rapport aux objets à éclairer, nous aurions pu, dans nos calculs, prendre comme intensité d'une machine le maximum qu'elle peut produire dans la direction la plus favorable. Mais nous avons préféré faire des expériences directes pour déterminer la moyenne des intensités lumineuses, envoyées dans toutes les directions, aussi bien au-dessus qu'au-dessous du foyer. De cette façon, nous présenterons des mesures réelles pouvant servir de base à un calcul pratique, et non des évaluations spéciales à une seule direction.

Le Tableau I ci-après résume les résultats obtenus dans cette première série d'expériences :

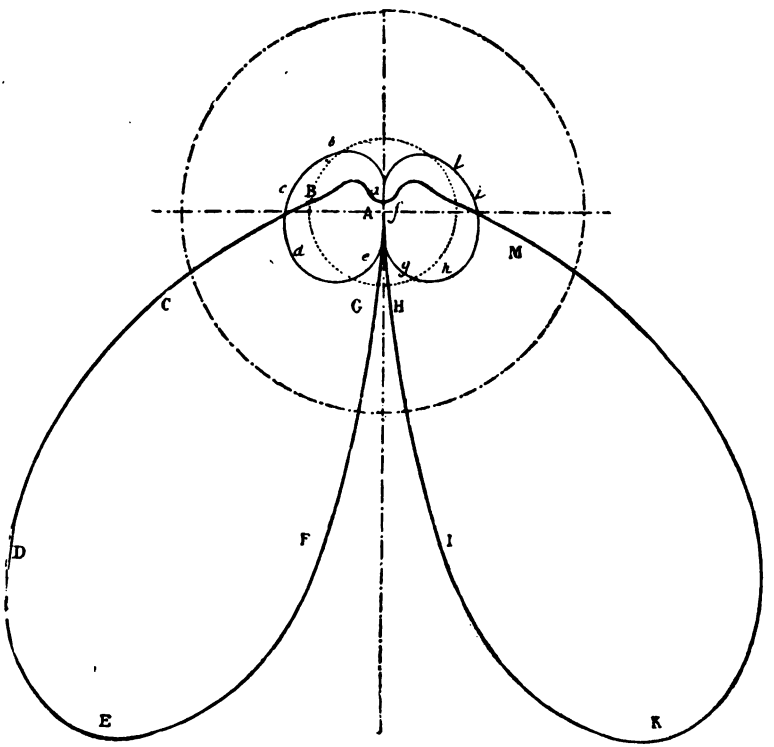
TABLEAU I. — *Intensités lumineuses dans diverses directions (courants continus.)*

VUE EN DESSOUS.		VUE EN DESSUS.		OBSERVATIONS.
Inclinaison sur l'horizontale du rayon lumineux observé.	Intensité lumineuse en becs	Inclinaison sur l'horizontale du rayon lumineux observe.	Intensité lumineuse en becs Carcel	
0°	225	0°	225	Pendant toutes ces expériences, la vitesse de la machine était de 750 tours, la force motrice absorbée 202^{kgm}, l'écart entre les crayons de 3^{mm}, la longueur du câble de 160^{m}, l'usure des crayons de 0^{m},07 à l'heure.
15	400	15	144	
30	822	30	130	
45	1175	45	119	
60	1135	60	79	
75	1051	75	21	
90	0	90	12	

En prenant la moyenne des intensités mesurées dans vingt-

quatre directions, douze à droite et douze à gauche, nous avons trouvé quatre cent cinquante-huit becs ; ce qui prouve que la lumière, mesurée horizontalement, est très approximativement la moitié de celle envoyée, en moyenne, dans toutes les directions.

Dès lors, lorsqu'on voudra connaître l'intensité lumineuse d'un appareil électrique à courants continus, il suffira de prendre une mesure photométrique, en plaçant la lampe Carcel, le régulateur



et le photomètre dans un même plan horizontal, et de multiplier par 2 l'intensité observée. Le résultat obtenu sera la véritable moyenne des intensités.

Si au lieu d'employer une machine à courants continus on emploie une machine à courants alternatifs, les résultats sont très différents. Le maximum d'intensité est observé à 15° en dessous de l'horizontale, et il diffère extrêmement peu de l'intensité observée horizontalement.

Généralement les intensités observées horizontalement sont inférieures, pour une même dépense de force motrice, à celles obtenues au moyen de machines à courants continus; voici cependant une expérience dans laquelle on a constaté deux cent vingt-cinq becs avec deux cent cinq kilogrammètres de force, c'est-à-dire à très peu de chose près ce qu'on avait obtenu dans l'expérience citée plus haut. Mais là s'arrête la similitude entre les résultats des deux sortes de machines, et le Tableau II fait bien ressortir l'infériorité des courants alternatifs.

La moyenne des vingt-quatre observations est de cent soixante becs Carcel. Le rapport entre la lumière totale, produite avec une machine à courants alternatifs, est donc de quatre cent cinquante-huit à cent soixante. La première produit trois fois plus de lumière que la seconde.

TABLEAU II. — *Intensités lumineuses dans diverses directions (courants alternatifs).*

VUE EN DESSOUS.		VUE EN DESSUS.		OBSERVATIONS.
Inclinaison sur l'horizontale du rayon lumineux observé.	Intensité lumineuse en becs Carcel.	Inclinaison sur l'horizontale du rayon lumineux observé.	Intensité lumineuse en becs Carcel.	
0°	225	0°	215	La force employée pendant toute la durée de l'expérience a été de 205^{kgm}.
15	230	15	207	
30	225	30	195	
45	207	45	180	
60	180	60	160	
75	127	75	140	
90	0	90	0	

Pour rendre cette supériorité appréciable à première vue, nous avons tracé les courbes ci-dessus, en divisant une circonférence en vingt-quatre parties égales et en limitant chaque rayon proportionnellement aux intensités observées. La ligne A, B, C, D, E, F, G, H, I, K, L, M, A, est relative aux courants continus, et la ligne *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, *g*, *h*, *i*, *l*, *a* est relative aux courants alternatifs;

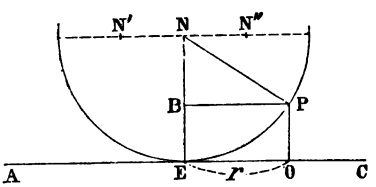
les circonférences pointillées ont leur rayon proportionnel aux moyennes calculées. Le foyer lumineux était placé à l'intersection des deux axes rectangulaires.

Établissement de la formule relative au rayon d'action des paratonnerres; par M. Lacoine (¹).

Il est admis par l'expérience que la foudre a une tendance à tomber sur les parties métalliques ; si donc, à l'aide d'un paratonnerre, nous arrivons à protéger une surface métallique, à plus forte raison ce même paratonnerre pourra protéger cette même surface non métallique.

Premier cas. — Soit N (*fig.* 1) un nuage situé au-dessus de la

Fig. 1.



surface AC à protéger; supposons-le à une distance telle de la pointe P du paratonnerre PO que la circonférence décrite avec NP pour rayon soit tangente à la surface AC en un point E. Ce nuage N sera également attiré par les points P et E, car ils sont au même potentiel; du reste, cette règle a toujours été admise dans toutes les instructions académiques. Par conséquent, tout point compris sur la surface AC dans le cercle ayant pour rayon OE sera protégé; mais si le nuage était, par exemple, en N', tout point situé en dehors de E vers A ne le serait pas : le rayon d'action est donc bien OE ou r. Mais on a

$$\overline{BP}^2 = \overline{NP}^2 - \overline{NB}^2;$$

(¹) J'ai fait mention de cette formule dans un Rapport adressé en 1873 au Ministère de l'Eveaf.

or NP = NE; donc BP ou EO ou enfin

$$r = \sqrt{\overline{NE}^2 - \overline{NB}^2}.$$

Pour mieux fixer la formule dans la mémoire, nous appellerons NE la hauteur du nuage au-dessus de la surface à protéger, c'est-à-dire au-dessus de l'édifice, soit h_e, et enfin NB sera la hauteur du nuage au-dessus de la pointe, soit h_p, de sorte que la formule deviendra

$$r = \sqrt{h_e^2 - h_p^2}.$$

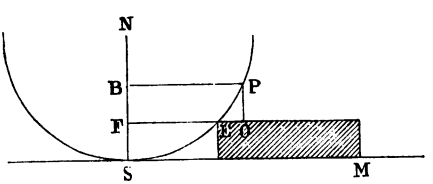
Il suffit donc de connaître la hauteur du nuage pour connaître le rayon d'action d'un paratonnerre donné. On peut obtenir, par l'expérience de plusieurs années et par des mesures directes, la hauteur moyenne des nuages orageux : c'est celle dont on devra tenir compte pour déterminer h_e et h_p, cette hauteur moyenne étant prise au-dessus du niveau moyen du lieu.

Deuxième cas. — La formule précédente suppose le nuage orageux déjà arrivé au-dessus de la surface à protéger et n'est, par conséquent, applicable que pour des paratonnerres placés vers le centre d'un grand édifice, à moins d'un artifice dont il sera question plus loin.

Pour des paratonnerres placés sur les bords d'un édifice, le rayon d'action est généralement de beaucoup diminué.

On voit en effet que, si un nuage N (*fig.* 2) est assez près d'un

Fig. 2.



édifice pour que le cercle tangent au sol S touche le bord E d'un édifice EM et si un paratonnerre est placé en O, il lui faudra la hauteur OP pour protéger le point E.

En raisonnant comme précédemment, on aura

$$EO = BP - FE = r;$$

mais

$$\overline{BP}^2 = \overline{NP}^2 - \overline{NB}^2 = \overline{NS}^2 - \overline{NB}^2,$$

$$\overline{FE}^2 = \overline{NE}^2 - \overline{FN}^2 = \overline{NS}^2 - \overline{FN}^2,$$

d'où enfin

$$r = \sqrt{\overline{NS}^2 - \overline{NB}^2} - \sqrt{\overline{NS}^2 - \overline{NF}^2}.$$

En tenant compte de la même notation que précédemment, nous avons

$$NB = h_p, \quad NF = h_e,$$

et enfin, soit NS la hauteur du nuage au-dessus du sol h_s, on aura définitivement

$$r = \sqrt{h_s^2 - h_p^2} - \sqrt{h_s^2 - h_e^2}.$$

Pour éviter de multiplier les tiges des paratonnerres sur les bords des édifices, comme il faudrait le faire, il vaut mieux entourer le faîte de l'édifice d'un conducteur relié au sol; alors, dans ce cas, on n'aura plus qu'à protéger la surface centrale de l'édifice.

Cette nécessité de multiplier les paratonnerres près des bords des édifices paraît expliquer la fréquence des décharges latérales observées sur les édifices munis de paratonnerres, et pour lesquels on avait adopté la même loi de protection vers le centre et sur les bords.

Les formules obtenues semblent plus d'accord avec la logique que les règles précédemment admises, et pour les cas les plus ordinaires elles conduisent à peu près à ces mêmes règles anciennes; les exemples suivants suffiront pour en donner une idée.

Premier exemple. — Soit 100^m la hauteur moyenne du nuage orageux au-dessus du niveau de la ville considérée (c'est la hauteur que j'ai trouvée pour Constantinople, par rapport au niveau de la mer).

Soient 20^m la hauteur de l'édifice et 10^m la hauteur de la tige; on a alors, en supposant l'édifice au niveau moyen,

$$h_s = 100, \quad h_e = 80, \quad h_p = 70.$$

On obtient alors, en appliquant la formule, pour le rayon d'action

d'un paratonnerre central,

$$r = \sqrt{6400 - 4900} = 38^m,$$

soit environ quatre fois la hauteur de la tige.

Sur les bords de l'édifice, le même paratonnerre devrait être situé à une distance

$$r = \sqrt{10000 - 4900} - \sqrt{10000 - 6400} = 11^m,$$

c'est-à-dire que, dans ce cas, le rayon d'action n'est qu'environ égal à la hauteur de la tige.

Deuxième exemple. — Si le même édifice est placé sur une éminence, le rayon de protection sera diminué. Soit, en effet, l'altitude de 50^m; on a alors

$$h_e = 80 - 50 = 30, \quad h_p = 70 - 50 = 20,$$

et, pour rayon d'action du paratonnerre central,

$$r = \sqrt{900 - 400} = 22^m,$$

soit seulement environ deux fois la hauteur de la tige, au lieu de quatre pour le cas précédent.

Troisième exemple. — Soit maintenant une église située au niveau moyen; soit 30^m la hauteur de l'église et 40^m la hauteur du clocher et de la tige au-dessus du toit de l'église. En appliquant la même formule, on trouve, pour rayon de protection du paratonnerre central, 63^m, environ une fois et demie la hauteur de la tige au-dessus de l'édifice.

Nota. — En discutant ces formules, on peut voir que, plus un nuage est élevé, plus est grand le rayon d'action, et que, plus une tige de paratonnerre est longue, moins est grand le rapport qui existe entre le rayon d'action et la longueur de la tige.

SÉANCE DU 4 JUILLET 1879.

PRÉSIDENCE DE M. MASCART.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 20 juin est lu et adopté.

Est élu membre de la Société :

M. D'ABBADIE, membre de l'Institut.

M. Saint-Loup adresse une Note sur des expériences qu'il a réalisées pour reconnaître l'influence exercée par un courant d'air rapide rasant l'extrémité d'un tube ouvert, perpendiculairement à la direction de ce tube.

M. Napoli décrit un pantographe planimétrique de son invention. Cet appareil est destiné à reproduire les figures en vraie grandeur. Il se compose d'un parallélogramme articulé, dont deux sommets contigus A et B font l'office de centres de rotation; sur les deux sommets opposés C et D est articulé un second parallélogramme ayant deux de ses sommets en C et D; les deux autres E et F portent une planchette et un stylet traceur à genouillère de Cardan, permettant de suivre le contour d'un solide quelconque dans le plan où se meut le pantographe. Un planimètre d'Amsler convenablement disposé donne l'aire de la figure que cet appareil reproduit.

M. Bouty expose la suite de ses recherches sur l'action de la chaleur sur les thermomètres métallisés [1].

M. Pellat a eu l'occasion de mesurer la force thermo-électrique de contact entre le cuivre et le sulfate de cuivre : elle est égale à $\frac{4}{100}$ de Daniell et dans le sens invoqué par M. Bouty pour l'interprétation de ses expériences.

M. Lamansky a étudié la fluorescence des substances qui, comme le rouge de Magdala, passent pour ne pas obéir à la loi de Stokes depuis les expériences de M. Lommel. Il trouve que la lumière

---

[1] Le Mémoire complet est inséré page 126 de ce *Bulletin*.

fluorescente est toujours moins réfrangible que la lumière, conformément à la loi de Stokes.

A propos d'une observation de M. Lamansky, M. Henri Becquerel rappelle que, d'après les expériences de M. Becquerel, il n'y a entre les deux phénomènes de la phosphorescence et de la fluorescence qu'une différence de durée, que dans les deux cas la lumière émanée du corps phosphorescent ou fluorescent doit être considérée comme de la lumière *émise* par ce corps aux dépens des radiations absorbées.

M. Niaudet indique un nouveau mode de suspension des aiguilles aimantées, consistant à les placer dans un bateau reposant à la surface d'un liquide. Le bateau peut lui-même être suspendu par un fil de cocon. La mobilité de ce système est supérieure à celle des suspensions ordinaires sur pivot, ou à l'aide d'un fil de cocon.

Sur la loi de Stokes; par M. S. Lamansky.

M. Stokes, dans ses recherches sur la fluorescence, a posé en principe que la lumière fluorescente est d'une réfrangibilité plus faible que la lumière excitatrice. Cette *règle* ou *loi de Stokes* est très importante, parce qu'elle nous montre qu'il existe une relation entre la lumière fluorescente et la lumière incidente.

Il y a déjà huit ans que M. Lommel, professeur de Physique de l'Université d'Erlangen, a commencé à publier ses recherches sur la fluorescence. C'est sur une solution alcoolique de rouge de naphtaline qu'il a pour la première fois observé les effets qu'il cite comme contraires à la loi de Stokes. En employant comme lumière excitatrice la lumière jaune de la soude, Lommel observait que le spectre de la lumière fluorescente était composé de rayons rouges, orangés, jaunes et verts. En conséquence, la lumière fluorescente émise par le rouge de naphtaline contiendrait des rayons plus réfrangibles que les rayons excitateurs. Pour produire la lumière jaune, Lommel prenait plusieurs perles de chlorure de sodium et les mettait dans le brûleur de Bunsen. Dans d'autres expériences, il laissait traverser aux rayons solaires une plaque de verre rouge et concentrait ces rayons avec une lentille sur le rouge de naphta-

line. Dans ce cas, il observait que la lumière fluorescente était composée de rayons rouges, orangés, jaunes et verts. Plus tard, il a fait les mêmes expériences en se servant des rayons du spectre comme lumière excitatrice. Il a constaté qu'il existe beaucoup de substances qui ne suivent pas la loi de Stokes, et, outre le rouge de naphtaline, il a cité la chlorophylle et l'éosine.

Hagenbach a fait de nombreuses observations contraires aux résultats de Lommel. Il a répété les mêmes expériences avec le rouge de naphtaline et n'a pas pu arriver au même résultat. Hagenbach pense que les rayons verts que Lommel observait dans son expérience avec la lumière de la soude provenaient du platine incandescent qui supporte le sel. M. Ed. Becquerel a fait les mêmes expériences avec le rouge de naphtaline et la lumière tamisée par un verre rouge, mais il n'a pu non plus obtenir le même résultat que Lommel.

Lommel, après les observations de Hagenbach, a publié de nouvelles expériences par lesquelles il a cherché à confirmer ses premiers résultats et à se mettre à l'abri des erreurs qu'on lui reproche. En outre, ses résultats ont été dans les derniers temps confirmés par Brauner et Lubarsch.

Lommel utilisait les effets qu'il observait sur le rouge de naphtaline, la chlorophylle et l'éosine pour donner une théorie générale de la fluorescence. Il pense qu'il existe deux formes différentes de fluorescence et il partage toutes les substances en trois classes.

La première forme de fluorescence serait celle dans laquelle chaque rayon homogène excite non seulement les rayons dont la longueur d'onde est plus grande ou égale, mais encore ceux dont la longueur d'onde est plus courte que celle du rayon excitateur.

La deuxième forme de fluorescence est celle dans laquelle chaque rayon homogène excite seulement les rayons qui ont une longueur d'onde plus grande que celle du rayon excitateur ou seulement égale.

La division en trois classes est établie de la manière suivante :

Première classe. — Ce sont les corps dans lesquels on observe la première forme de fluorescence; dans ces corps, chaque rayon homogène qui est capable de produire la fluorescence peut exciter le spectre entier de fluorescence. Par conséquent, ces corps ne suivent pas la loi de Stokes.

Deuxième classe. — Ce sont les corps dans lesquels on observe la deuxième forme de fluorescence et, par conséquent, dont tout le spectre fluorescent suit la loi de Stokes.

Troisième classe. — Dans la troisième classe rentrent les corps qui montrent les deux formes de fluorescence et dont une partie déterminée du spectre fluorescent affecte la première forme de fluorescence, tandis que les autres parties affectent la deuxième.

Je ne veux pas entrer ici dans une critique plus détaillée de cette théorie de Lommel; j'espère, en effet, démontrer que les effets observés par lui et sur lesquels il base sa théorie de fluorescence ne sont pas confirmés.

Pour vérifier la loi de Stokes, j'ai cru nécessaire de me servir de la méthode suivante. J'ai employé comme lumière excitatrice des rayons parfaitement homogènes et j'ai mesuré la réfrangibilité de la lumière fluorescente, ainsi que celle de la lumière incidente qui excite la fluorescence.

Les rayons réfléchis par un héliostat étaient concentrés avec une lentille achromatique sur une fente, derrière laquelle étaient placés deux prismes de flint et une lentille achromatique; cette dernière était éloignée de la fente d'une distance double de sa distance focale. Ce spectre était assez pur pour qu'on pût y voir les principales raies. On sait que, dans chaque spectre, il y a de la lumière diffuse, et, si l'on prend des rayons d'une couleur déterminée, ils sont toujours accompagnés de la lumière blanche. Pour éviter cette lumière diffuse et recevoir la lumière parfaitement homogène, on se sert de la méthode de Helmholtz, consistant à faire traverser encore une fois un prisme aux rayons homogènes.

Dans mes expériences, je développe le spectre sur la paroi d'une boîte dans laquelle est disposée une fente mobile que l'on peut déplacer dans les différentes parties du spectre et dont on peut modifier à volonté la largeur. Par cette fente je laisse pénétrer dans la boîte, qui contient une cuve remplie de fluide fluorescent, certains rayons du spectre auxquels je fais traverser auparavant un prisme de flint. Après cela je dirige, au moyen d'un prisme à réflexion, ces rayons parfaitement homogènes sur le fluide fluorescent placé dans la cuve. Entre la surface du fluide et la fente de la paroi est placée une lentille achromatique, qui donne l'image colorée de la fente sur la surface du fluide. Avec un second prisme à ré-

flexion, je dirige la lumière qui vient du fluide fluorescent sur la fente du collimateur d'un spectromètre de Brunner. Dans le champ de vision de la lunette du spectromètre, je reçois deux images colorées, l'une produite par la lumière fluorescente, l'autre par celle qui est réfléchie directement à la surface du fluide. Avec cet arrangement, je peux mesurer le minimum de déviation de ces deux images. J'ajouterai que, dans le cas où la lumière incidente avait la même réfrangibilité que la lumière émergente, j'ai, pour mesurer plus exactement la déviation, éloigné la cuve contenant le fluide et mis à sa place un miroir; du reste, on peut, en changeant la direction des prismes à réflexion, recevoir l'une ou l'autre image séparément.

J'ai opéré sur le rouge de naphtaline, l'éosine et la fluorescéine. Pour donner un exemple, je communique ici les valeurs que j'ai obtenues pour la fluorescéine :

Lumière incidente.		Lumière fluorescente.	
Largeur du faisceau.	Déviation moyenne.	Largeur du faisceau.	Déviation moyenne.
2°,51	50′,38	1°,25	48′,43
0,46	49,59	0,25	48,18
0,46	48,60	0,53	48.12
0,48	48,18	1,60	48,60
0,48	47,56	0,20	47,48

Il résulte de toutes ces expériences que la lumière fluorescente a une réfrangibilité plus faible que la lumière incidente. Dans mes recherches, j'ai pris les fluides à différents états de concentration et en couches de différentes épaisseurs; le résultat a toujours été le même. Chaque fluide a dans le spectre des rayons déterminés qui excitent en lui la plus vive fluorescence; avec d'autres rayons, la fluorescence est plus faible, et elle disparaîtra si l'on opère sur des rayons encore moins réfrangibles. Tous les rayons qui sont plus réfrangibles que les rayons fluorescents excitent dans ce fluide la fluorescence. C'est sur le rouge de naphtaline que j'ai obtenu le plus grand changement de réfrangibilité de la lumière, dans un cas où les rayons incidents dont l'indice de réfraction pour le flint est 1,63917 étaient changés en rayons qui ont 1,61521 pour indice de réfraction; si j'exprime ces valeurs en longueur d'onde, on

peut dire que les rayons de la raie H étaient changés en rayons de longueur d'onde de la raie B.

Après ces recherches, je crois pouvoir conclure que la loi de changement de réfrangibilité de la lumière est parfaitement juste dans la forme générale sous laquelle Stokes l'a émise.

SÉANCE DU 18 JUILLET 1879.

PRÉSIDENCE DE M. MASCART.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 4 juillet est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. Arnaud, notaire à Barcelonnette (Basses-Alpes).
Lamy, directeur de la manufacture de caoutchouc et gutta-percha à Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme).
Lisbonne, inspecteur de la Compagnie transatlantique, à Paris.
Onde, professeur au Lycée du Havre.
Scola, à Paris.

M. Bouty présente, au nom de M. Saint-Loup, un modèle de phonographe à plateau. Cet appareil est remarquable au point de vue de sa disposition mécanique, qui permet de communiquer à chaque instant au plateau la vitesse angulaire convenable, d'après la distance du style inscripteur au centre.

M. Bouty présente encore, au nom de M. Lutz, un microscope polarisant très portatif. L'appareil s'adapte sur un manche qu'on tient verticalement à la main. Un diaphragme muni de verres colorés permet d'observer dans la lumière monochromatique.

M. Gaumet décrit sous le nom de *campylomètre* un appareil destiné à mesurer la longueur d'une courbe. C'est une roulette mobile sur une vis et dont le contour divisé se déplace en face d'une réglette fixe, sur laquelle on lit directement la longueur parcourue.

M. Gernez étudie l'influence de l'électricité sur l'évaporation.

En réponse à une question de M. d'Almeida, M. Gernez dit qu'il n'a trouvé aucune relation entre le phénomène qu'il observe et la conductibilité plus ou moins grande du liquide employé. Il ne pense pas qu'il y ait connexion intime entre ce phénomène et le phénomène de l'*endosmose électrique*, décrit par Porret.

A ce sujet, M. Lippmann rapporte quelques expériences qu'il a faites sur l'influence de la nature du diaphragme dans le phénomène de Porret. Tous les diaphragmes isolants paraissent être équivalents à ce point de vue.

M. Mascart présente des courbes obtenues au moyen de divers appareils enregistreurs à inscription mécanique. Il signale à ce sujet plusieurs phénomènes nouveaux ou peu connus.

M. Bjerknes expose la théorie des forces apparentes qui naissent entre des corps sphériques enfermés dans un fluide incompressible, au sein duquel ils effectuent des vibrations isochrones.

Phonographe à plateau à mouvement de rotation uniforme; par M. Saint-Loup.

M. Saint-Loup substitue au cylindre des phonographes connus un plateau sur lequel on a tracé une rainure se développant en spirale du centre à la circonférence. Ce plateau reçoit la feuille métallique sur laquelle doivent s'inscrire les vibrations communiquées à la membrane du phonographe et au style inscripteur qui en dépend.

Cette membrane est fixée sur un chariot qui se transporte du centre à la circonférence et *vice versa* par suite de la rotation du plateau, dont le mouvement commande directement une vis avec écrou fixé au chariot de la membrane; le mouvement circulaire est transformé en mouvement rectiligne. Le pas de la vis étant précisément celui du développement de la spirale, le style reste toujours en présence de la rainure spirale du plateau. Du reste, le tracé de cette rainure a été obtenu directement par le déplacement du chariot.

Sans autres détails, ce système ne donnerait pas des tracés équidistants pour toute la surface du plateau; ils seraient très

rapprochés vers le centre, et ils s'écarteraient de plus en plus en s'approchant de la circonférence. En d'autres termes, *le chemin parcouru pour une même durée d'action de la membrane est plus petit au centre qu'à la circonférence du plateau.*

Pour rendre ce tracé uniforme pour toutes les parties du plateau, M. Saint-Loup a imaginé une transformation de mouvement très simple, qui trouvera son application dans bien des cas.

Le mouvement de rotation est communiqué au plateau par un galet à friction agissant sur la face opposée à celle où se trouve la rainure spirale. L'arbre à manivelle de ce galet peut glisser longitudinalement sur ses paliers, afin que le point de contact avec le plateau puisse être déplacé et être amené soit vers le centre, soit vers la circonférence. La vitesse du plateau est ainsi modifiée; elle se ralentit si le galet est amené vers le centre.

Une fourchette, fixée au chariot de la membrane du phonographe, pénètre dans une gorge creusée sur l'arbre du galet. Le déplacement du chariot produit donc celui du galet de friction sur le plateau, et par suite augmente ou diminue sa vitesse de rotation.

La position du galet par rapport à celle du style inscripteur reste toujours la même, d'où il résulte que, si le style est près du centre, le galet y est aussi, et alors la vitesse angulaire du plateau est *plus grande* que lorsque le style et le galet se dirigent vers la circonférence; la vitesse angulaire du plateau devient alors *moindre*, et cela régulièrement et dans un rapport constant. *Le chemin parcouru, pour une même durée d'action de la membrane,* reste constant pour toutes les parties de la rainure spirale du plateau.

Le campylomètre; par M. F. Gaumet.

Le campylomètre ([1]) est un petit instrument de poche destiné à donner, après une seule opération et par une simple lecture : 1° la longueur métrique d'une ligne quelconque, droite ou courbe, tracée sur une carte ou un plan ; 2° la longueur naturelle correspondant à

([1]) Καμπύλος, courbe, μέτρον, mesure.

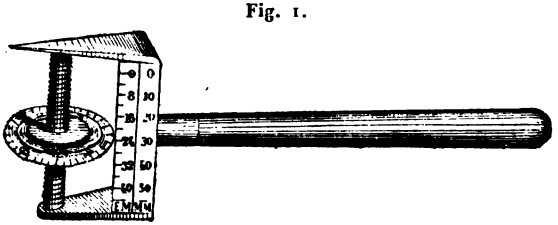
une longueur graphique sur les cartes au $\frac{1}{80000}$ et au $\frac{1}{100000}$ et sur les cartes dont les échelles sont des multiples ou des sous-multiples simples des précédentes.

Le campylomètre est une application d'une propriété de la vis micrométrique déjà mise à profit, dans la construction du télémètre de poche que j'ai présenté à la Société dans la séance du 19 mai dernier.

Cet instrument consiste en un disque denté dont la circonférence est exactement de $0^m,05$. Les deux faces de ce disque portent chacune un système de divisions : l'une est divisée en quarante parties, l'autre en cinquante parties.

La circonférence du disque ($0^m,05$) correspond à 4^{km} à l'échelle du $\frac{1}{80000}$ et à 5^{km} à celle du $\frac{1}{100000}$. La division au $\frac{1}{40}$ du disque à la première échelle mesure 100^m; il en est de même de la division au $\frac{1}{50}$ pour la deuxième échelle.

Fig. 1.



Le disque denté se meut sur une vis micrométrique dont le pas est de $0^m,0015$, en regard d'une réglette portant des graduations espacées d'une longueur égale au pas de la vis et représentant des longueurs :

1° De 5, 10, 15, 20.....	50^{cm}	à l'échelle	métrique ;
2° De 5, 10, 15, 20.....	50^{km}	»	du $\frac{1}{100000}$
3° De 4, 8, 12, 16.....	40^{km}	»	du $\frac{1}{80000}$

La vis micrométrique est fixée dans une monture recourbée de manière à former une pointe servant de guide.

Pour se servir du campylomètre, amener le zéro du disque en regard du zéro de la réglette, puis placer l'instrument sur la carte dans une position perpendiculaire, la pointe servant de guide, et promener le disque denté sur la ligne droite ou sinueuse dont on veut avoir la longueur.

L'opération terminée, remarquer la dernière graduation de la réglette au delà de laquelle le disque s'est arrêté, ajouter à la valeur de cette graduation la longueur complémentaire fournie par la division du disque qui est en regard de la réglette.

Dans le cas de la mesure métrique d'une ligne, ajouter au nombre de centimètres donné par la graduation supérieure le complément en millimètres fourni par la division au $\frac{1}{50}$.

Exemple. — Soient 20 la graduation supérieure, 35 la division au $\frac{1}{50}$ en face de la réglette ; la longueur obtenue est de

$$0^m,20 + 0^m,035 = 0^m,235.$$

Si l'on mesure une ligne sur une carte au $\frac{1}{100000}$, les graduations supérieures représentent des kilomètres, les divisions complémentaires au $\frac{1}{50}$ des centaines de mètres.

Le campylomètre a été spécialement construit pour les cartes au $\frac{1}{80000}$ et au $\frac{1}{100000}$; un calcul facile à faire sur les résultats permettrait de l'utiliser sur des cartes dont les échelles seraient des multiples ou des sous-multiples simples des précédentes.

D'après ce qui précède, on voit que l'emploi du campylomètre n'exige pas le tracé, sur la carte, de l'échelle graphique, mais bien la connaissance de l'échelle numérique. Dans le cas où l'échelle graphique serait seule connue, l'instrument pourrait servir comme rapporteur à l'échelle.

Les différentes applications que nous venons d'énumérer nous dispensent d'insister sur les avantages de l'emploi du campylomètre. Cet instrument extrêmement simple remplacera très avantageusement les procédés aussi longs qu'inexacts en usage jusqu'ici pour la mesure des distances, cette partie principale de la lecture des cartes.

Ajoutons que la partie essentielle du campylomètre peut être vissée à l'extrémité d'un porte-mine et que l'on obtient ainsi réunis en un seul deux objets souvent indispensables.

Distillation des liquides sous l'influence de l'électricité statique;
par M. D. Gernez.

La recherche de l'influence que peut exercer l'électricité sur l'évaporation des liquides a depuis longtemps occupé les physiciens, qui espéraient trouver en même temps la solution de problèmes plus ou moins obscurs de Météorologie. J'ai abordé la question d'une manière nouvelle, bien qu'extrêmement simple, et je vais indiquer succinctement le résultat de mes expériences, qui mettent en lumière un fait qui n'a pas, à ma connaissance, été signalé jusqu'ici.

Considérons un tube de verre en forme d'U renversé, dont les deux extrémités sont fermées et traversées par des fils de platine; supposons qu'on ait soudé au coude un appendice tubulaire qui permette d'y introduire un liquide, puis de faire le vide dans l'appareil que l'on peut ensuite fermer à la lampe : si l'on met les deux fils, dont la partie située à l'intérieur du tube est noyée dans le liquide, en communication avec les deux pôles d'une machine de Holtz en activité (1), on reconnaît que le liquide passe de l'une des branches dans l'autre, toujours dans le sens de l'écoulement de l'électricité positive vers le pôle négatif. Vient-on à changer le sens de la décharge, la distillation se produit aussitôt en sens inverse (2).

Ce phénomène est extrêmement net; il est assez rapide dans certains tubes pour que l'abaissement de niveau soit de plus de $0^{m},001$ par minute; il présente du reste une grande régularité. On reconnaît que, si le débit de l'électricité est uniforme, les changements

(1) Lorsqu'on fait des expériences prolongées avec la machine de Holtz, il est avantageux de substituer au fourneau alimenté de charbon que l'on dispose sous la machine une rampe de becs de gaz analogue à celle qui sert à chauffer les bains de sable, bien que la combustion du gaz de l'éclairage produise une assez grande quantité de vapeur d'eau.

(2) Le sens suivant lequel se produit cette distillation est contraire à celui que sembleraient indiquer les recherches de M. A. de la Rive. En effet, d'après ce physicien, « la transmission de l'électricité à travers une colonne gazeuse détermine un mouvement dans les particules du gaz, et ce mouvement semble être une impulsion émanant de l'électrode négative. » (*Annales de Chimie et de Physique*, 4e série, t. VIII, p. 454; 1866.)

de niveau sont proportionnels à la durée de l'expérience; de plus, il se manifeste dans les gaz ou les vapeurs quelle qu'en soit la pression.

On pourrait, *a priori*, être tenté d'attribuer cette distillation à une différence d'échauffement des liquides aux pôles positif et négatif. On sait, en effet, par les expériences de M. A. de la Rive, que, dans les tubes à gaz très raréfiés, des thermomètres placés au voisinage des deux électrodes indiquent des températures qui dans les premières minutes sont très différentes, la température étant plus élevée près du pôle positif. Mais il faut remarquer que les différences des températures aux deux pôles vont en diminuant avec le temps et finissent par être nulles; il en est de même lorsque la force élastique du gaz augmente: c'est ainsi qu'avec un tube à air atmosphérique la différence des températures dans le voisinage des deux électrodes est nulle quand la pression s'élève à $0^m,020$. Les expériences suivantes permettent de résoudre la question de l'influence de l'échauffement du liquide sur le phénomène.

1° J'ai disposé un appareil dans lequel les deux couches liquides

Fig. 1.

qui reçoivent, l'une l'électricité positive, l'autre l'électricité négative, sont entourées l'une par l'autre de façon à conserver toujours la même température. A cet effet, j'ai pris un tube de verre (*fig.* 1) ouvert à une extrémité et dont l'autre extrémité,

fermée retenait un fil de platine soudé; je l'ai entouré d'un large tube ayant même axe, soudé au premier un peu au-dessus de son extrémité fermée et portant un fil de platine soudé latéralement; j'ai étiré le tube extérieur, et, après avoir introduit du liquide dans le tube le plus étroit et dans l'espace compris entre les deux tubes, j'ai fait le vide dans l'appareil et l'ai scellé à la lampe. Lorsqu'on fait arriver l'électricité positive dans le liquide contenu dans le tube le plus étroit et l'électricité négative dans le liquide extérieur, il y a distillation de l'intérieur vers l'extérieur; si l'on change le sens de la décharge, on observe que le liquide distille de l'extérieur vers le tube intérieur. Ici les deux liquides sont sensiblement à la même température, et ce qui prouve que la différence des températures, si elle existe, est sans influence sur le phénomène, c'est que, au moment où l'on change le sens de la décharge, on reconnaît que la distillation se manifeste bien avant que le passage de l'électricité ait pu intervertir l'ordre des températures des deux couches liquides.

On observe du reste un phénomène curieux si l'on a fait le vide dans l'appareil de manière à n'y laisser que la vapeur du liquide, de l'eau par exemple, avec la tension qui correspond à la température ambiante. Lorsqu'on fait passer la décharge de l'extérieur à l'intérieur, la région du tube étroit située au-dessus du niveau du liquide devient incandescente, tandis qu'on ne voit pas à l'extérieur d'incandescence bien prononcée; la température à l'intérieur du tube central est manifestement plus élevée qu'à l'extérieur, et cependant le niveau monte dans ce tube par suite de l'arrivée du liquide extérieur.

2° J'ai voulu me rendre compte des variations de température produites dans les deux couches liquides par le passage de la décharge, et, à cet effet, j'ai introduit aux extrémités d'un tube en U renversé les réservoirs de deux thermomètres très sensibles baignés par le liquide traversé par l'électricité. J'ai reconnu que, lorsque l'appareil contenait, outre le liquide, un gaz sous la pression atmosphérique, les températures des deux couches liquides s'élevaient simultanément sans présenter une différence de température de $\frac{1}{10}$ de degré; quand le vide était fait dans l'appareil, j'ai constaté plusieurs fois des différences, toujours faibles, mais c'est le thermomètre négatif qui m'a paru un peu plus élevé que le positif.

3° Enfin, j'ai recherché par des expériences directes quelle serait l'influence d'une élévation de la température sur la distillation. A cet effet, j'ai maintenu l'une des branches d'un tube coudé à une température supérieure de 5°, 10°, 15°, 20° à celle de l'autre branche et j'ai constaté que, pendant le temps que duraient les expériences ordinaires, la variation de niveau que l'on observait était tellement petite par rapport à celle qui résultait de l'influence de l'électricité, qu'on pouvait la considérer comme nulle.

Du reste, on provoquait toujours la distillation de la branche la plus froide à la branche la plus chaude en faisant arriver par la première l'électricité positive.

Il est donc établi par ce qui précède que, sous l'influence de l'électricité statique, il y a passage des liquides de la région positive des vases à la région négative, et que cette distillation ne résulte nullement de l'échauffement inégal des deux couches liquides, traversées par l'électricité.

J'ai reconnu que la quantité de liquide transportée est proportionnelle à la quantité d'électricité mise en jeu et qu'elle ne dépend pas sensiblement de la grandeur de la surface libre du liquide : ainsi, toutes choses égales d'ailleurs, il passe autant de liquide quand la surface du liquide traversé par l'électricité positive est cent fois plus grande que celle du liquide négatif, que lorsqu'on fait arriver l'électricité positive dans le liquide dont la surface libre est cent fois plus petite que l'autre.

Ce dernier résultat semble indiquer que le phénomène n'est pas une distillation ordinaire, c'est-à-dire une vaporisation du liquide suivie d'une condensation de la vapeur. Voici des expériences qui permettent de pénétrer plus avant dans son étude.

1° Supposons que dans les appareils que j'ai décrits, séchés préalablement, on introduise de l'eau distillée à la partie inférieure des tubes seulement et sans mouiller leurs parois internes au-dessus de la surface liquide, puis que l'on fasse passer la décharge à la manière ordinaire ; on constate que peu à peu, dans une région voisine de la surface du liquide, la paroi se mouille sur une hauteur de quelques millimètres seulement, et l'on reconnaît que, tant que cette région mouillée ne s'étend pas sans discontinuité d'une surface liquide à l'autre, il n'y a pas de distillation facilement appréciable.

2° Si l'on couvre la surface des tubes qui continue la paroi baignée de liquide d'une couche mince d'une substance qui ne permette pas au liquide de mouiller la paroi, telle que la stéarine, la paraffine, etc., dans le cas où l'on opère sur l'eau distillée, on reconnaît que la distillation, considérablement ralentie, peut être tout à fait supprimée; elle se manifeste de nouveau, au contraire, si l'on dissout la substance et qu'on lave les parois jusqu'à ce qu'elles soient mouillées par le liquide.

3° Il résulte de ce qui précède que le liquide ne peut passer d'une région de l'appareil à l'autre qu'autant qu'il peut mouiller la portion de paroi qui les sépare. Le phénomène est donc surtout un transport de liquide produit le long des parois sous l'influence de l'arrivée de l'électricité positive. On peut s'assurer de l'exactitude de cette interprétation en soumettant à l'expérience des liquides convenablement choisis. Avec de l'eau distillée, si l'on fait usage d'appareils très propres, ou, plus facilement, avec de l'eau distillée additionnée de 20 à 50 pour 100 d'alcool, on voit naître de la surface du liquide positif de nombreux filets liquides très déliés qui s'élèvent vers le liquide négatif en formant une multitude de petits courants qui ne laissent aucun doute sur le chemin suivi par le liquide sous l'influence de l'électricité.

4° On peut se demander si, indépendamment de ce transport du liquide le long des parois, il n'y a pas entraînement de vapeurs qui, prenant naissance à la surface liquide positive, viendraient se condenser à la surface négative. Voici comment on peut essayer de séparer les effets dus à ces deux causes. On prend une cornue de verre dont on ramollit le fond à la lampe de manière à y souder un fil de platine; on y introduit de l'eau distillée; suivant l'axe du col de la cornue, on dispose un tube graissé extérieurement, ouvert à une extrémité, fermé à l'autre et traversé par un fil de platine soudé; on ajuste ce tube de manière que la surface libre de l'eau qu'il contient soit à une distance de la surface du liquide de la cornue qui permette à la décharge de passer facilement. Dans ces conditions, si l'on amène l'électricité positive par le fond de la cornue, le liquide distille, mais il s'accumule dans la région comprise entre le tube et le col de la cornue. En prolongeant suffisamment l'expérience, on fait passer ainsi des quantités de liquide très grandes, tandis que le liquide contenu dans le tube néga-

tif n'éprouve qu'une élévation de niveau extrêmement faible.

Il résulte de ce qui précède que la distillation constatée est presque exclusivement un transport de liquide effectué sous l'influence de l'électricité le long des parois conductrices des appareils.

De là l'explication d'un certain nombre de faits intéressants. Je citerai seulement l'expérience suivante. Dans un tube de verre coudé à branches très inégales, on met deux colonnes liquides d'eau distillée par exemple ; après avoir mouillé le tube on fait passer la décharge, et l'on constate le passage du liquide de la branche positive à la branche négative ; vient-on à enlever une certaine quantité de liquide dans la branche négative, de manière à augmenter la distance des deux surfaces liquides entre lesquelles jaillit la décharge, on reconnaît que, toutes choses égales d'ailleurs, la quantité de liquide transportée est la même, que la distance soit $0^m,12$, $0^m,34$, $0^m,45$, $0^m,54$ et même $0^m,60$; la décharge passe facilement même dans ce dernier cas, bien que la limite d'écartement des conducteurs entre lesquels elle jaillit dans l'air soit beaucoup moindre.

Le mécanisme du phénomène étant bien constaté, j'ai recherché comment se comporteraient les divers liquides, et voici quelques-uns des résultats de cette étude.

1° Bien que le transport des liquides ne se produise qu'à la condition que la paroi des vases soit mouillée, je n'ai pas trouvé de relation entre les quantités de liquides entraînées, toutes choses égales d'ailleurs, et les constantes capillaires de ces liquides.

2° Il y a une certaine concordance entre le sens suivant lequel varie le phénomène et la conductibilité des liquides. Sans doute la distillation n'a pas lieu si le liquide est très mauvais conducteur, comme les chlorure et sulfure de carbone, le chloroforme et l'essence de térébenthine ; mais, lorsque la décharge passe, le transport est d'autant plus abondant que le liquide est moins bon conducteur. Ainsi, l'eau distillée additionnée d'alcool est transportée plus abondamment que l'eau pure ; le transport de l'alcool du vin peut être cinq ou six fois plus rapide que celui de l'eau distillée. D'un autre côté, l'addition à l'eau pure ou à l'alcool de substances qui changent la conductibilité de ces liquides a pour effet d'affaiblir très rapidement la quantité de liquide transportée. C'est ainsi

qu'en ajoutant à l'eau distillée quelques gouttes d'un acide tel que les acides sulfurique, azotique, chlorhydrique, etc., en quantité assez faible pour que ni la densité ni la température d'ébullition n'éprouvent de modifications sensibles, on constate que la vitesse de transport de ces liquides est réduite à une fraction de sa valeur souvent inférieure à $\frac{1}{50}$. Les alcalis, tels que la potasse, la soude ou l'ammoniaque, employés en quantités très faibles, produisent le même effet. Il en est de même des solutions salines neutres, telles que celles de sulfate de soude : par exemple, l'addition à l'eau distillée de quelques centièmes d'une solution saturée de chlorhydrate d'ammoniaque réduit la quantité de liquide distillée à moins de $\frac{1}{30}$ de sa valeur. De là l'explication des effets différents que l'on observe dans des tubes formés de diverses espèces de verre, et qui tiennent à la dissolution dans l'eau distillée d'une petite quantité d'alcali suffisante pour modifier profondément la vitesse de transport du liquide.

3° J'ajouterai cependant que, si l'on soumet à l'action de la décharge un mélange homogène de deux liquides, l'action de l'électricité détermine une séparation partielle des deux liquides, qui distillent en proportions qui ne sont en rapport ni avec la volatilité ni avec la conductibilité de la substance. C'est ainsi que, en opérant sur des mélanges d'alcool et d'eau, on obtient par entraînement électrique un liquide moins riche en alcool que le résidu.

Sur l'inscription des phénomènes météorologiques, en particulier de l'électricité et de la pression; par M. Mascart.

1. L'utilité des appareils inscripteurs pour l'observation continue des phénomènes météorologiques n'a plus besoin d'être démontrée aujourd'hui. Les instruments de cette nature se multiplient dans les observatoires; il y aura bientôt dans chaque pays un certain nombre de stations principales où les phénomènes les plus importants seront recueillis par des enregistreurs, et l'examen ultérieur des résultats ainsi obtenus sera sans doute l'origine de progrès nouveaux dans la Science.

L'inscription des phénomènes n'a pas seulement pour but de

diminuer le travail des observateurs : elle a une portée scientifique plus élevée. Aucune modification permanente ne paraît s'être manifestée depuis un grand nombre de siècles dans la Physique du globe; on peut donc estimer, d'un point de vue général, que tous les phénomènes météorologiques sont soumis à des variations régulières et peuvent être représentés, comme les marées, par une série de termes périodiques. La continuité dans les observations de jour et de nuit paraît nécessaire si l'on veut déterminer par expérience les différents termes qui les représentent.

D'ailleurs, certains phénomènes sont par leur nature tellement variables, que des observations discontinues, à moins d'être extrêmement rapprochées, n'en peuvent donner une idée exacte. Tel est le cas de l'électricité atmosphérique, à peu près en tout temps, et celui du magnétisme terrestre pendant les aurores boréales. Et même pour les autres éléments dont la marche est plus régulière, comme la température, l'humidité de l'air et la pression, on constate dans les tracés graphiques des variations accidentelles très intéressantes, que les lectures directes à intervalles un peu éloignés ne permettraient pas de soupçonner.

Parmi les appareils inscripteurs, les uns suivent les phénomènes sans discontinuité et en traduisent tous les détails; les autres opèrent par intermittences plus ou moins rapprochées. Les inscripteurs continus sont évidemment préférables au point de vue théorique. Jusqu'ici cependant on a employé un grand nombre d'appareils à indications intermittentes, parce qu'il est possible de les réaliser par de simples dispositions mécaniques. Pour les tracés continus, on a eu généralement recours à la photographie; mais cette méthode exige une installation spéciale dans une chambre obscure, des manipulations chimiques et une assez grande dépense d'éclairage et de produits.

La photographie elle-même n'est pas aussi fidèle qu'on pourrait le croire au premier abord. Pour différents motifs, sur lesquels il n'est pas nécessaire d'insister, on est obligé d'employer des papiers peu sensibles à la lumière, et l'image de la flamme qui doit laisser son empreinte a toujours d'assez grandes dimensions. Les courbes marquées par ces impressions sur le papier ne présentent pas la netteté d'un trait de crayon; elles sont larges, un peu baveuses, et manquent même tout à fait dès que l'image se déplace

rapidement. C'est un défaut que l'on constate d'une manière très fréquente dans les courbes d'électricité atmosphérique et qui se manifeste souvent aussi, dans les grandes perturbations du magnétisme terrestre, sur les tracés des boussoles.

Les inscripteurs mécaniques, en permettant d'obtenir des courbes plus fines au moyen de crayons ordinaires ou de pointes de métal, ou encore de pointes légères glissant sur une feuille de papier enfumé, peuvent donc fournir des résultats plus exacts, quand même ils ne traduiraient les phénomènes que par intermittences, pourvu que celles-ci soient assez rapprochées. A plus forte raison ces appareils seront-ils préférables s'ils fonctionnent d'une manière continue, condition que réalise déjà le baromètre si ingénieux de M. Redier.

Sans prétendre, par ces considérations un peu générales, porter un jugement sur les différents systèmes d'inscription, je donnerai comme exemples quelques-uns des résultats que j'ai obtenus avec l'électromètre inscripteur et quelques remarques sur les variations accidentelles de la pression atmosphérique.

2. L'instrument dont je me suis servi pour l'étude de l'électricité atmosphérique se compose essentiellement d'un électromètre de sir W. Thomson, en relation avec un vase à écoulement d'eau continu. Les déviations de l'aiguille sont transmises toutes les deux minutes et demie à un crayon qui les traduit sur une feuille de papier; l'ensemble de ces tracés produit une courbe, non pas absolument continue, mais composée de petits escaliers très rapprochés.

L'appareil a été mis en fonction au Collège de France, à la fin de février 1879, et les courbes obtenues régulièrement depuis cette époque permettent déjà de se faire une idée de la marche des phénomènes pendant les cinq mois qui ont suivi.

On peut remarquer d'abord que le potentiel de l'air est en général positif, avec des variations plus ou moins rapides. Par les temps couverts, les courbes deviennent plus agitées; la pluie donne presque toujours de très grandes déviations négatives. Le changement de signe se manifeste avant le début de la pluie, et quelquefois aussi la pluie est suivie immédiatement d'indications positives très élevées. Il s'est montré aussi quelques exemples

très rares soit de pluies positives, soit de grandes déviations négatives sans pluie apparente au voisinage de l'observateur. Cette prédominance de l'électricité négative dans les nuages pluvieux que j'ai déjà signalée me paraît un fait important dans la question de l'origine de l'électricité atmosphérique.

Si l'on néglige les variations accidentelles et qu'on examine la marche des courbes dans leur ensemble, on est frappé de cette circonstance que l'électricité est beaucoup plus uniforme la nuit et plus variable dans la journée. Le potentiel est même notablement plus élevé la nuit que le jour. Le maximum paraît avoir lieu vers 9^h ou 10^h du soir; la courbe descend lentement jusque vers 6^h du matin, puis plus rapidement, atteint un minimum vers 3^h du soir et remonte ensuite d'une manière à peu près uniforme. Cette conclusion, que l'on peut formuler par le simple aspect des courbes, se justifie dans les tableaux numériques. J'ai fait d'abord des moyennes mensuelles pour huit observations trihoraires, en écartant du calcul des moyennes les observations faites pendant la pluie et même toutes les lectures qui donnaient de l'électricité négative. J'ai obtenu ainsi, en prenant une unité arbitraire :

	Minuit.	3h.	6h.	9h.	Midi.	3h.	6h.	9h.	Minuit.
Mars.....	24,7	19,2	19,1	13,6	14,5	14,9	21,2	27,1	24,7
Avril.....	24	23,7	24,0	16,0	17,0	13,3	28,5	26,0	24
Mai.....	24,5	23,3	26,0	20,7	13,8	15,4	15,4	24,5	24,5
Juin.....	26,7	25,5	25,4	17,6	14,6	12,0	18,4	25,0	26,7
Juillet.....	33,3	34,5	33,7	28,8	26,7	23,6	29,3	36,1	33,3
Moyenne.....	26,6	25,2	25,6	19,3	17,3	15,8	20,5	27,7	26,6
Moyenne totale.	26,6	25,2	24,6	15,0	12,7	9,8	13,2	26,9	26,6

Les variations sont naturellement plus régulières dans la moyenne des cinq mois que pour chacun d'eux en particulier. Dans la dernière ligne du Tableau, on a tenu compte aussi des indications négatives, à l'exception toutefois de celles qui correspondaient aux chutes de pluie, qu'il faut évidemment mettre à part; la moyenne totale ainsi calculée exagère encore le sens du phénomène et met mieux en évidence le minimum de 3^h du soir et le maximum de 9^h, ou plus exactement le maximum continu de la nuit.

Ces résultats, je dois le reconnaître, sont en contradiction avec les idées généralement adoptées. Ainsi, M. Quetelet a déduit de plusieurs années d'observation à Bruxelles que l'électricité atmo-

sphérique présente deux maxima, le matin et le soir, et deux minima, l'un dans la journée et l'autre dans la nuit. Les observations publiées récemment par le P. Denza l'ont conduit aux mêmes conclusions; mais le minimum de la nuit a été en général plutôt établi par induction que déterminé directement, parce que l'emploi d'appareils non inscripteurs n'a guère permis de suivre les phénomènes d'une manière continue.

Toutefois, ce minimum de la nuit a été constaté à l'observatoire de Kew, à l'aide d'un enregistreur photographique de sir W. Thomson. Dans le Rapport du Conseil météorologique publié en 1878, M. Everett a publié un résumé horaire de tous les résultats obtenus pendant deux années consécutives, du 1er juin 1862 au 1er juin 1864. Les tableaux numériques et les courbes qui les traduisent indiquent bien dans les moyennes mensuelles et dans les moyennes annuelles deux maxima et deux minima, analogues à ceux qu'avait signalés Quetelet, et dont l'heure est un peu variable avec les différentes saisons. Les observations que je viens de rapporter sont donc en complet désaccord avec les observations antérieures.

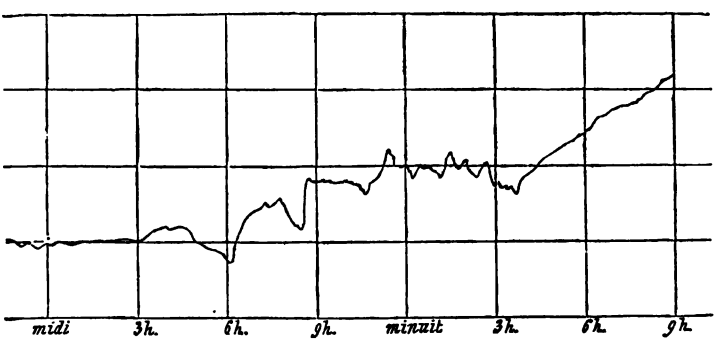
Le maximum continu d'électricité positive que j'ai constaté pendant la nuit comme moyenne des observations faites pendant les cinq derniers mois est peut-être un phénomène exceptionnel, dû aux conditions tout à fait anomales de la saison que nous venons de traverser. Il y aura lieu de chercher si les mêmes effets se sont manifestés à l'électromètre inscripteur de Kew et si de nouvelles observations à Paris les contredisent ou les confirment.

Mais, avant de quitter ce sujet, j'insisterai encore sur une circonstance qui me paraît avoir été souvent trop négligée. Dans un appareil quelconque destiné à l'observation continue de l'électricité atmosphérique, il y a un organe spécial, mèche de Volta ou veine liquide de sir W. Thomson, qui fait fonction de source électrique et qui tend à maintenir sur l'instrument le potentiel de l'air au point où se détachent les particules conductrices de gaz chaud ou de liquide. Mais, en même temps, tous les supports que l'on peut employer pour isoler l'électromètre, la mèche ou le vase à écoulement et les fils de communication, ne remplissent pas ce rôle d'une manière absolue. Le débit d'électricité que peut fournir une veine liquide est limité par le nombre et la capacité des gouttes qui se détachent ; si l'isolement des supports est trop imparfait et

s'il dépend surtout des conditions atmosphériques, le potentiel atteint par l'électromètre ne sera à chaque instant qu'une fraction variable et inconnue du potentiel maximum. Cette cause d'erreur peut modifier complètement les résultats des observations.

3. Je dirai quelques mots maintenant des petites variations du baromètre. Tous les météorologistes qui emploient le baromètre inscripteur de M. Redier ont eu l'occasion de constater les brusques changements de pression qui se manifestent au moment des orages. Ce phénomène paraît avoir été signalé pour la première fois par M. l'abbé Goulon (*Bulletin international de l'Observatoire de Paris*, 21 mars 1866); mais c'est à M. Redier que l'on doit réellement de l'avoir mis bien en évidence.

Fig. 1.



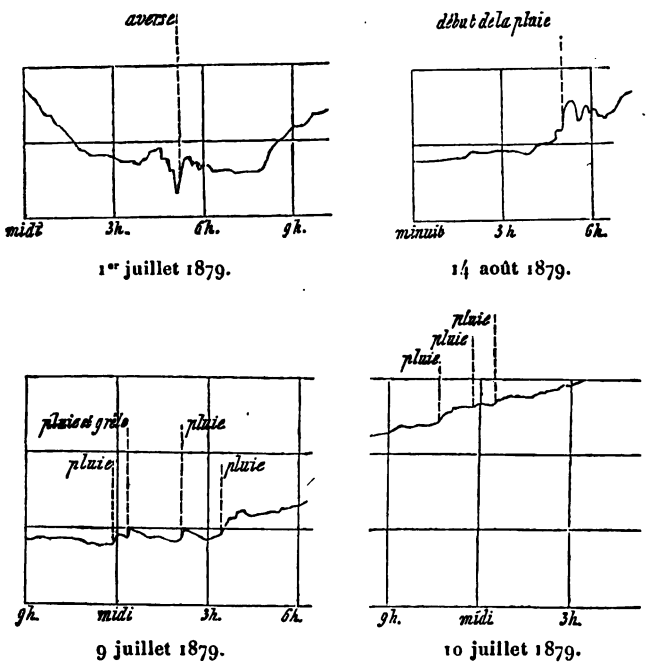
3 et 4 août 1879.

Au moment d'un orage, le baromètre baisse d'abord d'une manière assez rapide, puis remonte brusquement: cet effet se traduit sur la courbe par une sorte de V unique ou plus rarement par une série d'oscillations plus ou moins régulières. Nous donnons ici (*fig.* 1) comme exemple de variations exceptionnelles la courbe du baromètre, à Paris et au Parc Saint-Maur, pendant l'orage qui s'est manifesté dans la nuit du 3 au 4 août dernier (la distance de deux lignes horizontales correspond à une variation de pression de 2^{mm} de mercure). On a cherché quelquefois à faire intervenir les actions électriques dans ces changements de pression, mais il est probable que la cause en est beaucoup plus simple.

La *fig.* 2 renferme les calques d'un certain nombre de frag-

ments de la courbe tracée par un baromètre inscripteur, à Paris, pendant les mois de juillet et d'août 1879, à des heures où je me trouvais auprès de l'appareil et où je pouvais noter au moment même le début de chaque pluie. L'examen de ces courbes met en évidence une relation très simple : *le baromètre monte dès que la pluie commence.* Toutefois, il faut bien remarquer que cette règle n'est pas générale ; elle ne se vérifie pas si le ciel est tout à fait couvert et si la pluie est fréquente et abondante, mais seulement lorsque le ciel est parcouru par des nuages isolés et qu'il se produit par intervalles des averses suivies d'éclaircies.

Fig. 2.



La cause de ces changements rapides de pression paraît très simple. Dans les circonstances que j'ai indiquées, l'état hygrométrique de l'air n'est pas très élevé. La pluie qui tombe d'un nuage traversant un espace non saturé s'évapore en partie et cette vapeur, développée sur place, donne lieu à un accroissement local de la pression, accroissement très faible en général, mais qui peut dans

certaines pluies d'orage atteindre 2^{mm} de mercure. L'influence d'une grande quantité de vapeur produite brusquement en un point suffit pour amener une pareille variation.

La diminution de pression qui se manifeste pendant les orages peut s'expliquer par un phénomène inverse. Tout le monde a pu remarquer en effet que les nuages orageux se forment sur place; sans chercher les causes qui provoquent cette condensation, où l'état électrique de l'air et peut-être l'ozone jouent sans doute un rôle important, il est certain qu'elle a lieu très rapidement, et le passage d'une certaine quantité d'eau de l'état de vapeur à l'état de gouttelettes doit donner lieu à une diminution de la pression. On constate d'ailleurs sur les courbes que la chute de pression se fait généralement d'une manière plus lente et à différentes reprises, tandis que l'accroissement est beaucoup plus brusque.

Enfin, si l'on réfléchit que l'accroissement de pression en un point peut être produit par une pluie qui tombe à une certaine distance, et que dans l'air lui-même il peut se manifester des condensations et des évaporations partielles de nuages, on verra que le changement d'état de l'eau atmosphérique permet de rendre compte de toutes les bizarreries que présentent les variations de la pression en temps d'orage. C'est une idée que je soumets à l'examen des météorologistes pour appeler leur attention sur ce point; on constate des effets analogues au moment où les brouillards se condensent ou se dissipent, et peut-être qu'en suivant de plus près ces phénomènes si curieux on pourra mieux en déterminer le mécanisme.

Phénomènes dits hydro-électriques et hydromagnétiques; théorèmes fondamentaux et leur constatation expérimentale; par M. C.-A. Bjerknes, professeur à l'Université de Christiania.

Au moyen de *vibrations isochrones* de corps sphériques voisins enfermés dans un fluide incompressible, il se produit entre ces corps (comme l'a montré la résolution mathématique d'un problème d'Hydrodynamique) des forces apparentes, attractives ou répulsives, comparables à celles qui se manifestent entre des corps

chargés d'électricité ou entre des aimants. J'ai même obtenu de cette manière une sorte d'*électromagnétisme,* auquel on ne connaît cependant rien d'analogue dans la nature.

Pour éviter les longueurs dans les explications et pouvoir les émettre aussi avec plus de clarté, j'ai cru devoir donner un nom distinct à ces nouveaux phénomènes. Je les désignerai ainsi comme une *hydro-électricité,* un *hydromagnétisme,* etc. Mais, abrégeant ensuite et sous-entendant qu'il ne s'agit pas réellement de phénomènes d'électricité et de magnétisme, je parlerai souvent dans ce qui va suivre, sans nuire, à ce que je pense, à la netteté de l'idée d'aimants au lieu d'hydroaimants, de masses électriques au lieu de masses hydro-électriques, et ainsi de suite.

Voici en quoi consistent maintenant les faits principaux. Une *sphère pulsante*, qui se dilate et se contracte périodiquement, se comporte comme un *pôle magnétique* ou comme une *masse électrique;* une *sphère oscillante* se comporte comme un *aimant.* Toutefois, il y a une *inversion* à faire dont je parlerai plus tard. La sphère pulsante doit être conçue comme un pôle nord ou bien comme une masse électrique positive lorsque son volume augmente. Le pôle est concentré au centre, la masse électrique répandue sur la surface moyenne. Inversement, la sphère pulsante doit être conçue comme un pôle sud ou une masse électrique négative quand le volume diminue. L'*hydro-aimant,* représenté par la *sphère oscillante,* contient deux pôles opposés : le pôle nord, du côté vers lequel le mouvement oscillatoire est dirigé; le pôle sud, du côté des lieux quittés. L'orientation du sud vers le nord est donc la même que la direction de la vitesse oscillatoire, et elle changera avec elle régulièrement.

Maintenant, si, pour simplifier, nous ne considérons que les *vibrations isochrones* de deux sphères voisines, et que ces mouvements aient toujours simultanément ou les mêmes phases ou des phases contraires, les vitesses vibratoires changeront de direction en même temps, ce qui revient au même que s'il n'y avait aucun changement. Alors on peut fixer convenablement le temps initial et supposer que désormais un pôle nord doit rester à jamais nord, un pôle sud à jamais sud. Le corps électrique gardera par suite son espèce, l'aimant avec ses deux pôles opposés son orientation, et, pourvu que l'on admette qu'on passe aux effets moyens dans

le cours d'une période commune, on peut même considérer les intensités comme étant constantes.

Toutefois, quoiqu'on ait une analogie d'ailleurs complète entre les phénomènes dont nous nous occupons et ceux avec lesquels on les compare, le calcul montre une différence essentielle à signaler. Ici, il faut généralement admettre que les pôles et aussi que les masses électriques du même nom (nord, sud) s'attirent, que ceux du nom opposé se repoussent. En d'autres termes, ce nouveau genre d'électricité et de magnétisme est d'une espèce inverse. Les pôles magnétiques étant de plus, dans la théorie présente, équivalents à des masses électriques, on aura encore une action entre les nouveaux aimants et lesdites masses, d'où un *électromagnétisme* dont on ne connaît pas l'équivalent dans la nature. L'électricité dont il s'agit n'est, en effet, qu'une électricité statique, et, si l'on parlait autrement d'une action entre des aimants et des pôles magnétiques, on aurait bien des analogies connues; mais alors la difficulté ne ferait que changer, puisqu'on devrait avoir, dans le cas des phénomènes naturels, des masses magnétiques polaires isolées : ce qui n'est pas.

Ces principes ont été trouvés en résolvant, dans les années 1868 et 1870, un problème d'hydrodynamique sur le mouvement de plusieurs sphères variables dans un fluide incompressible, et en tirant de là, en 1875, quelques nouvelles conséquences. J'ai poursuivi la vérification expérimentale surtout depuis l'été de cette dernière année, d'abord seul, chez moi, avec des moyens naturellement bien limités, plus tard aidé, de temps en temps, par un physicien disposant d'un laboratoire, M. Schiötz, un de mes collègues à l'Université de Christiania, et à la fin en employant aussi un habile assistant, M. Svendsen. Une certaine part dans la réussite de mon entreprise expérimentale, en particulier dans beaucoup d'essais préalables ou provisoires, est due aussi à mon fils, le jeune homme qui m'assiste à cette séance. Quant aux détails techniques, en construisant des instruments plus ou moins provisoires ou complets, je les ai laissés ordinairement à mon collaborateur, M. Schiötz, et à notre assistant, M. Svendsen. Au premier j'ai demandé aussi, pour un Mémoire étendu que je prépare, une description circonstanciée des instruments, n'en donnant moi-même qu'une esquisse contenant ce qu'il est le plus nécessaire de

connaître. Les principes de construction dont nous nous sommes servis pour résoudre ces problèmes expérimentaux, posés par les théorèmes hydrodynamiques, ont été trouvés successivement dans le cours de mes premiers essais, et encore plus, peut-être, par des efforts réunis dans les travaux communs.

Les appareils que je présente à la Société, et avec lesquels j'ai l'honneur de faire aussi une série complète d'expériences, sont au nombre de six, mais ils se réduisent en quelque sorte à quatre. Je les appellerai :

I. L'appareil de pulsations (P);

II. Les appareils d'oscillations (O_c, O_n, O_r);

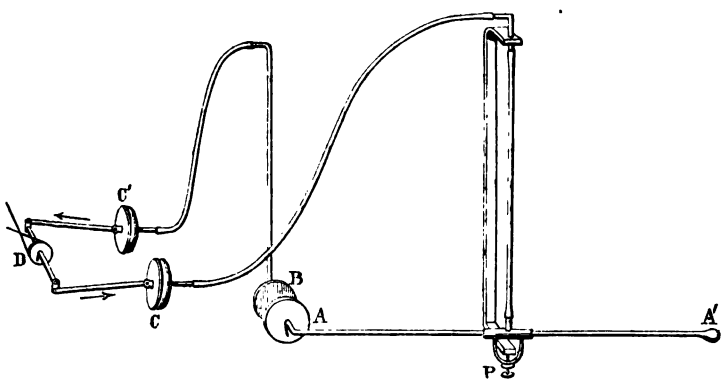
III. Les appareils mixtes (M_r, M_r).

Les derniers se rapportent à la combinaison des mouvements oscillatoires et des pulsations. Les trois appareils de la deuxième classe sont de plus : 1° l'appareil des actions centrales, O_c; 2° des déplacements normaux (relativement à la centrale), O_n; 3° de la rotation, O_r. Enfin les deux appareils mixtes, qui peuvent s'établir, du reste, par quelques remplacements très faciles à effectuer avec les précédents O_n et O_r, comprennent les suivants : 1° l'appareil des actions linéaires, soit qu'elles consistent en des actions centrales ou en d'autres qui sont normales, M_r, et 2°, en dernier lieu, celui des phénomènes rotatoires, M_r.

I. *Pulsations vers pulsations* (P). — J'ai donc fait voir d'abord l'action toujours centrale entre deux corps pulsants, c'est-à-dire qui se dilatent et se contractent périodiquement. Ici, comme partout, les vibrations doivent être *isochrones*. Ces pulsations simultanées donnent lieu à des forces agissant inversement aux carrés des distances. L'attraction aura lieu alors pour des pulsations concordantes, la répulsion, au contraire, si elles sont opposées. On a ainsi des *phénomènes analogues aux phénomènes électriques* ou à un *magnétisme polaire;* mais toujours on aura une *inversion* à faire, puisqu'ici les électricités ou les pôles magnétiques du même nom exerceront une attraction, celles du nom opposé une répulsion. Il y a même, dans cette théorie, une équivalence déterminée entre ces phénomènes *hydro-électriques* et ceux qui se rapportent aux *actions des pôles* dans les corps que nous avions appelés des *hydro-aimants*.

Un levier creux AA′ (*fig.* 1) peut se mouvoir avec la plus grande facilité autour de son point d'appui, dans un plan horizontal. Il est terminé par un tambour A fermé par une membrane très élastique et formant le corps pulsant. Le même levier est porté par un tuyau de caoutchouc T, fixé plus haut et légèrement tendu, et il communique avec lui, en sorte qu'un courant d'air, en entrant et en sortant alternativement, puisse produire les pulsations demandées (¹). Celles-ci se feront alors sans occasionner aucun mouvement horizontal.

Fig. 1



Pour les effectuer, on se sert d'une pompe construite d'après le même principe du tambour C, en attachant à la membrane, avec de la cire à cacheter, un piston mis en mouvement par une roue tournante D. Le corps pulsant se déplacera maintenant très aisément, pour peu que des forces convenablement dirigées commencent à agir; mais toujours il restera en repos tant qu'il ne subit d'autres actions que celles qui provoquent ses pulsations. Avec des moyens analogues, mais plus simples, on aura encore le second corps pulsant B, et on le met en communication avec une nouvelle pompe fonctionnant comme la première. Pour montrer les phénomènes, on approche B tenu avec la main, et l'on aura bien tous les effets qu'on cherche, selon la disposition donnée

(¹) Je me sers, pour plus de commodité dans les expériences, d'un cylindre pulsant au lieu d'une sphère pulsante; les résultats seront alors les mêmes quant à la partie principale de l'action.

aux manivelles. Ces manivelles appartiennent respectivement à l'une ou à l'autre des deux pompes agissantes.

II. *Oscillations vers oscillations* (O_c, O_n, O_r). — Les phénomènes magnétiques, ou plus précisément *hydromagnétiques,* sont beaucoup plus nombreux. Ils naissent, comme nous venons de le dire, d'une tout autre sorte de vibrations : d'*oscillations rectilignes*. Au moyen des trois appareils O_c, O_n, O_r, on fait voir les actions principales qui se présentent alors.

Les lignes décrites par les centres des sphères oscillantes, par conséquent aussi *les axes des aimants,* peuvent avoir maintenant plusieurs positions relatives, et chacune d'elles donne lieu à des mouvements d'un caractère distinct. De là, le grand nombre de phénomènes qui naissent. Nous allons énumérer plus bas tous ceux qu'on doit considérer comme principaux et indiquer ensuite quels sont les effets qui en résultent.

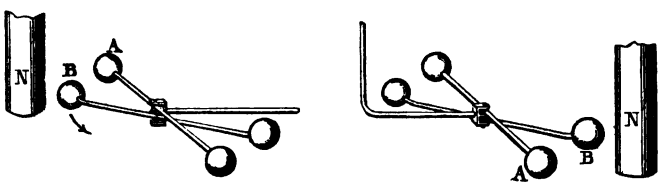
D'abord, on aura les *actions centrales,* qu'on étudiera au moyen de O_c. On voit, conformément aux théories hydrodynamiques, que des aimants, s'ils sont placés *longitudinalement* l'un à la suite de l'autre, doivent se repousser ou s'attirer selon qu'ils sont dirigés dans le même sens ou dans le sens opposés. Si les mêmes aimants sont parallèles, c'est ceux d'une orientation pareille qui s'attireront; ceux, au contraire, qui sont dirigés en sens opposés se repoussent. Avec des aimants naturels, c'est évidemment l'inverse qui aura lieu. Enfin les aimants ou bien les hydro-aimants dont il s'agit pourraient avoir aussi une autre position qu'il appartient d'étudier ici, position que nous convenons de nommer *normale-transversale*. Les axes magnétiques seront alors non seulement perpendiculaires à la ligne centrale, ce qui constituera la transversalité, mais ils seront encore perpendiculaires entre eux. Au moyen de la théorie, on se convaincra facilement que, pour cette nouvelle position, la force centrale s'annulera.

L'appareil nous montre bien ces résultats. On remarquera cependant que toujours, quand tout est bien arrangé, on aura, dans le dernier cas, une faible attraction au lieu d'une neutralité complète. Mais cette attraction se perd très vite avec les distances croissantes, puisqu'elle appartient à ces forces de degrés supérieurs que nous avons ici négligées. Cette dernière expérience montrant

la neutralité avec la modification que nous venons d'ajouter, nous avons omis de l'exécuter dans la séance, pour ne plus déranger une certaine partie de notre appareil. Nous avons repris et montré cette expérience plus tard à diverses occasions.

Quant au principe de la construction de cet appareil, il peut être expliqué en peu de mots. On a un levier qui peut tourner avec la plus grande facilité autour d'un axe vertical. Aux bouts sont placées deux sphères A et B (*fig.* 2), qui seront mises en oscilla-

Fig. 2.



tion ou par un mouvement oscillatoire et vertical, qu'on donne à toute la balance, ou par un mouvement oscillatoire et horizontal, perpendiculaire à la direction de cette dernière. Ces mouvements communiqués ne produiront pas des mouvements continus dans le même sens; plutôt, la balance sera moyennement en repos. Cependant, on pourrait craindre quelquefois une instabilité excessive, ou bien une tendance prononcée à prendre des positions stables qui diffèrent trop des positions de départ quand on veut exécuter une expérience. Pour remédier à cela, on peut s'arranger de manières diverses : par de petits abaissements et relèvements, on corrige l'état d'équilibre; on donne à la balance une position légèrement oblique dans un plan vertical; ou enfin, ce qui est le plus commode, on se sert des aimants n'agissant sur les bras de ladite balance, les bras étant, de cette raison, de fer. A côté de la balance assujettie à pouvoir tourner autour d'un axe vertical on en aura encore une autre qui peut bien osciller, mais qui ne tourne point; et cette dernière, un peu courbée et pourvue aussi avec des boules fixées aux bouts, est placée de manière à croiser la première.

Un troisième appareil, O_n, montrera *les déplacements normalement à la ligne centrale,* lesquels déplacements se produiront lorsque l'un des aimants est longitudinalement et l'autre plan-transversalement placé. Si le dernier est empêché de tourner.

il se déplacera en effet normalement à cette ligne centrale; mais cela ne sera que d'un chemin petit, comme on peut se convaincre d'après la théorie comme d'après l'expérience. Le phénomène est naturellement encore opposé à celui des aimants naturels dans le cas de positions analogues. Quant à la manière d'effectuer cette nouvelle expérience, nous n'en dirons rien; car on se servira du même principe qu'auparavant.

Enfin les hydro-aimants peuvent avoir des positions telles qu'il en résulte des *rotations*. Lorsqu'en effet on fait en sorte que l'une des sphères oscille *longitudinalement* et l'autre *plan-transversalement,* alors, si l'on ne permet à la dernière que de changer de direction, le centre des oscillations restant fixe, ce changement s'effectuera et l'on aura de nouveau les mêmes mouvements, mais en sens inverse, comme pour les aimants naturels. On obtiendra les mouvements contraires correspondant à des positions parallèles aux anciennes si les nouveaux aimants dont nous parlons sont *normal-transversalement* placés. Dans tous les cas, du reste, le mouvement rotatoire est tellement dirigé, qu'il tend à amener le corps tournant dans la position de la plus grande attraction.

L'expérience montrée par un quatrième appareil, O_r, consiste en ceci. On a un cadre rectangulaire, verticalement placé, qui peut se tourner avec la plus grande facilité autour d'un axe vertical. Dans le même niveau et de côtés opposés du cadre, il passe une tige horizontale, qui a ainsi une position parallèle aux côtés horizontaux. Cette tige, portant dans son milieu une sphère dont elle traverse le centre, peut être mise dans un mouvement longitudinal et alternatif. Au moyen d'un simple mécanisme, pourvu d'un ressort réagissant, un mouvement semblable d'une tige verticale, auquel donne lieu la rotation primordiale d'une roue, sera transféré au premier, et de cet échange de mouvements il résultera des oscillations pour la sphère fixée en tige horizontale. Ces oscillations n'auront de plus aucune influence pour faire tourner le cadre, et par là la sphère elle-même. Cependant, elles changeront très-aisément leurs directions s'il y a une action de forces pouvant causer un tel changement, et l'on aura évidemment une action de cette espèce de la manière que nous venons d'indiquer.

Pulsations vers oscillations (M_r, M_r).— On aura enfin les actions

entre les corps oscillants et pulsants, c'est-à-dire entre des *masses hydroélectriques* et des *hydro-aimants*. Autrement dit, on aura encore, en quelque sorte, un certain électromagnétisme.

Au moyen de l'appareil O_n transformé en M_r, en y remplaçant la partie oscillatoire et fixe par le tambour pulsant, on montrera facilement les attractions et les répulsions naissantes lorsque l'aimant nouveau est *longitudinalement* placé, par rapport au corps électrique; de même les déplacements normalement à la ligne centrale qui se produisent si, relativement à ce corps, le même aimant a une position *transversale*. La longueur de l'axe déterminée par celle des oscillations, étant ici petite, les déplacements seront aussi nécessairement très courts. On peut d'ailleurs modifier un peu les deux expériences et les réunir dans une seule d'une manière bien instructive. Si, au lieu de donner au corps hydro-électrique une position fixe, on le laisse suivre l'aimant continuellement, pendant les déplacements transversaux qui s'accomplissent, ces déplacements se renouvelleront, et l'on peut l'entraîner aussi loin qu'on veut; ensuite, en changeant de place, en sorte que de l'une ou de l'autre manière on ait pour cet aimant entraîné une position longitudinale, relativement au corps électrique, on aura un retournement aux positions antérieures. Et de cette sorte on pourrait continuer.

A la fin, l'appareil M_r, provenant également de O_r quand on y remplace les parties oscillatoire et fixe par le tambour pulsant, fait paraître, de son côté, des rotations du cadre, par conséquent aussi du corps oscillant. Et l'on aura ainsi, conformément à la théorie, par une sorte de forces hydro-électromagnétiques, une rotation d'un aimant produite par l'action d'un corps électrique. L'électricité et le magnétisme doivent être compris naturellement dans le sens modifié que nous donnons quelquefois aux mots pour abréger.

Je pourrais dire, après avoir donné cette exposition générale et résumée, ce qu'est dans cette théorie une couche électrique, une masse magnétique, etc. Je me borne à indiquer que la première se représentera par l'intensité dans un courant radial et que le moment magnétique se rapportera à une quantité de mouvement. L'explication de tout cela et d'un bon nombre d'autres choses m'entraînerait cependant trop loin, et, pour mettre le lecteur en

état de mieux suivre les faits hydrodynamiques fondamentaux, je le prie de se reporter à mes cinq articles insérés dans les *Comptes rendus* en mai et juin 1877, à deux articles dans le même recueil en janvier et février 1879, comme aussi, pour plus de détails, à un dernier article lu à l'Académie, quelques jours après la séance de la Société, le 21 juillet. On y trouvera l'histoire de l'origine et du développement successif de cette théorie et une annonce des Mémoires préparatoires. Je me propose de l'exposer avec plus de détails dans un Mémoire étendu que j'insérerai dans les écrits de la Société des Sciences, à Christiania.

SÉANCE DU 7 NOVEMBRE 1879.

PRÉSIDENCE DE M. BERTHELOT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 18 juillet est lu et adopté.

M. Mouton communique à la Société une première partie de ses recherches sur les lois de la dispersion des rayons calorifiques obscurs.

M. Niaudet présente un élément de pile à chlorure de chaux.

La force électromotrice de cette nouvelle pile, mesurée par comparaison avec un élément de Latimer-Clark et à l'aide d'un potentiomètre analogue à celui de ce physicien, est d'environ $1^{\text{volt}},6$.

MM. Bertin, Raynaud, Niaudet échangent quelques observations sur l'emploi du potentiomètre et sur la constance de l'étalon Latimer-Clark. M. Pellat, en opérant par la méthode d'opposition et en substituant un électromètre au galvanomètre, afin de se mettre à l'abri de toute polarisation, a trouvé entre deux exemplaires du Latimer-Clark une différence de $\frac{1}{100}$ Daniell.

Mesure de la longueur d'onde des calorifiques obscurs; par M. L. Mouton (1).

Le procédé que j'ai employé est basé sur les considérations suivantes.

Imaginons deux nicols placés à la suite l'un de l'autre et ayant leurs sections principales parallèles; entre eux une lame cristalline, de quartz par exemple, taillée parallèlement à l'axe, a sa section principale à 45° de celles des nicols; faisons traverser ce système par un faisceau lumineux que nous concentrerons ensuite sur la fente d'un spectroscope : le spectre présentera une série de bandes noires parallèles à la fente. C'est la belle et célèbre expérience de MM. Fizeau et Foucault (2). Considérons la partie centrale d'une de ces bandes noires, et soit λ la longueur d'onde à laquelle elle correspond. La vibration de cette longueur d'onde, n'ayant pu traverser le second nicol, a dû, par le fait de la lame, tourner d'un angle droit; les deux composantes en lesquelles la lame l'a décomposée ont donc pris, l'une par rapport à l'autre, une différence de marche d'un nombre impair de demi-longueurs d'onde $(2k+1)\frac{\lambda}{2}$. D'autre part, e étant l'épaisseur de la lame, n et n' ses deux indices par rapport à la longueur d'onde λ, cette différence de marche en air est $e(n'-n)$; on a donc la relation

$$e(n'-n) = (2k+1)\frac{\lambda}{2}.$$

Si les nicols, au lieu d'être parallèles, sont à angle droit ou, comme on dit, à l'extinction, la relation est de la forme

$$e(n'-n) = k\lambda,$$

où k est également un certain nombre entier qui diminue d'une unité quand on passe d'une bande à sa voisine du côté du rouge.

---

(1) *Voir* le Mémoire complet (*Annales de Chimie et de Physique*, 5e série, t. XVIII, p. 145 et suiv.).

(2) *Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, t. XXVI et XXX.

Selon la disposition que nous adopterons, la relation correspondante nous fournira le λ de chacune des bandes, si nous savons déterminer l'épaisseur e de la lame, ainsi que les indices n', n et le nombre k relatifs à cette bande.

Je vais montrer dans cette première Partie comment j'ai déterminé e et k.

L'épaisseur d'une lame collée sur verre ne peut guère se mesurer au sphéromètre, qui présente en outre l'inconvénient de ne pas préciser l'unité de longueur qui se trouve employée. Le premier procédé optique remonte à Biot (¹).

On sait que Newton a enregistré les couleurs successives que l'on rencontre à mesure qu'on s'éloigne du centre noir des anneaux réfléchis normalement et noté les épaisseurs correspondantes de la lame d'air; c'est ce qu'on appelle l'échelle chromatique de Newton. Cela posé, la méthode de Biot peut s'énoncer ainsi : Entre deux polariseurs à l'extinction, dans l'appareil de Norremberg par exemple, une lame mince cristalline donne une certaine teinte; on obtiendra son épaisseur en multipliant par une constante propre à la substance de la lame la double épaisseur correspondant à la même teinte dans l'échelle de Newton. Cette constante est pour le quartz, par exemple, environ $\frac{1}{109}$.

On voit sans peine que ce procédé n'est qu'une approximation. L'expression qui définit la couleur en un point d'une lame d'air d'épaisseur d des anneaux réfléchis de Newton est $\Sigma \sin^2 \pi \frac{2d}{\lambda} \alpha$, dans laquelle α désigne la fraction de lumière de longueur d'onde λ que contient la lumière incidente, et la somme devant être étendue à tout le spectre; d'autre part, la couleur, dans le cas de la polarisation chromatique parallèle d'une lame cristalline, est définie par $\Sigma \sin^2 \pi \frac{e(n'-n)}{\lambda} \alpha$.

Comme $n'-n$ est fonction de λ, ces deux intégrales ne sauraient être comparées; mais, si l'on admet que $n'-n$ conserve la valeur constante qu'il a vers le jaune vif du spectre, les deux intégrales

(¹) *Voir* Biot, *Traité de Physique théorique et expérimentale*, t. IV, p. 342 et suiv. — Billet, *Traité d'Optique physique*, t. I, p. 46.

auront tous leurs éléments égaux si l'on a $e(n'-n)=2d$. Les couleurs seront donc les mêmes dans les deux cas, et réciproquement, si les couleurs sont identiques, c'est que l'égalité précédente sera satisfaite.

La constante de Biot est donc le rapport $\frac{1}{n'-n}$, dans lequel on donnera aux indices n' et n les valeurs relatives au jaune du spectre. Et en effet, d'après les nombres de M. Mascart relatifs au quartz, $n'-n=0,00915$ pour la raie D et $0,00918$ pour la raie E, et $\frac{1}{109}=0,00916$.

L'approximation consiste donc à négliger la dispersion de double réfraction de la substance; l'erreur sera par suite d'autant plus grande que cette dispersion sera plus forte et que la lame sera plus épaisse.

Le procédé que j'ai employé est rigoureux; il fournit en outre le nombre k relatif à chacune des bandes du spectre. Il repose : 1° sur l'emploi d'un réseau connu au lieu d'un prisme dans l'expérience de Fizeau et Foucault rappelée plus haut; 2° sur l'usage d'un développement en série liant $n'-n$ à la longueur d'onde.

J'entends par réseau connu un réseau dont on aura déterminé la distance entre deux traits consécutifs par la condition que la longueur d'onde de la raie D la moins réfrangible soit égale au chiffre de Fraunhofer qu'a adopté M. Mascart, $0^{\mu},5888$ (1) (μ désignera toujours à l'avenir le millième de millimètre de Fraunhofer). L'unité de longueur se trouve être ainsi le millimètre de Fraunhofer, ou mieux tout est rapporté à la longueur d'onde invariable de cette raie D. Le réseau que j'ai employé était de MM. Brunner frères; les spectres y sont très beaux et très nets. Je le plaçais sur la plate-forme du goniomètre bien connu des mêmes constructeurs, dont le vernier donne les 10″ et au besoin les 5″. En résolvant par rapport à ρ l'équation $\rho \sin \delta = n.0,0005888$, dans laquelle δ est l'écart de la raie D_1 pour un spectre d'ordre n, j'ai obtenu pour ρ la valeur $\frac{1}{170}$ de millimètre. Tout phénomène de bande produit dans le spectre aura maintenant sa longueur d'onde déterminée en millimètres de Fraunhofer par la mesure de son angle d'écart.

---

(1) *Annales de l'École Normale*, 1re série, t. I, p. 258.

J'ai parlé en second lieu de l'emploi des formules de dispersion. Ce n'est point ici le lieu de rappeler toutes les discussions théoriques ou pratiques auxquelles la valeur relative des diverses formules proposées a donné lieu. Je dirai seulement, et cette raison tout empirique suffit au cas présent, que si l'on développe la différence des indices du quartz de B à G selon la formule simplifiée de Cauchy, $n' - n = \alpha + \frac{\beta}{\lambda^2}$, réduite à deux constantes α et β pour lesquelles la méthode des moindres carrés appliquée aux nombres de M. Mascart [1] m'a donné

$$\alpha = 0,0088205,$$
$$\beta = 0,0001093,$$

et qu'on substitue ce développement à la fonction vraie inconnue qui lie dans le quartz $n' - n$ à λ, on verra, en comparant les nombres calculés aux nombres observés, qu'on ne commet pas dans le spectre lumineux une erreur de $\frac{1}{300}$ de la valeur de $n' - n$.

Cela posé, plaçons une lame de quartz d'épaisseur inconnue entre deux nicols à l'extinction, la lame à 45°, le tout en avant de la fente du goniomètre armé de son réseau ; faisons traverser le système par un filet solaire et observons le premier spectre par exemple. Admettons que la lame soit d'épaisseur telle qu'au moins deux bandes noires soient bien nettement accusées dans les parties brillantes du spectre. Pour chacune d'elles, comme nous l'avons vu, l'expression $\frac{e(n' - n)}{\lambda}$ est un nombre entier. Soit k_0 la valeur de ce nombre pour la bande la moins diffractée ; elle sera $k_0 - 1$ pour la suivante ; δ_0 et δ_1 étant les écarts correspondant à ces bandes, nous avons les deux relations

$$(1) \qquad e\left(\frac{\alpha}{\rho \sin\delta_0} + \frac{\beta}{\rho^3 \sin^3\delta_0}\right) = k_0,$$

$$(2) \qquad e\left(\frac{\alpha}{\rho \sin\delta_1} + \frac{\beta}{\rho^3 \sin^3\delta_1}\right) = k_0 - 1.$$

---

[1] *Loc. cit.*, p. 238.

En les divisant membre à membre, il vient

$$\frac{k_0}{k_0 - 1} = \frac{\dfrac{\alpha}{\rho \sin \delta_0} + \dfrac{\beta}{\rho^2 \sin^2 \delta_0}}{\dfrac{\alpha}{\rho \sin \delta_1} + \dfrac{\beta}{\rho^2 \sin^2 \delta_1}} = A,$$

relation dans laquelle la valeur A du second membre est toute connue. Nous en tirons $k_0 = \frac{A}{A-1}$, qui sera d'autant plus voisin d'un nombre entier que les mesures auront été mieux faites, *et ce nombre entier sera la vraie valeur de* k_0.

Cette valeur transportée dans les équations (1) et (2), chacune d'elles donne une valeur de e; on prend la moyenne.

Voici un exemple du calcul.

Une de mes lames, le n° 3, fournit dans le spectre avec nicols croisés deux bandes se pointant très bien. J'ai trouvé $\delta_0 = 4°42'30''$, $\delta_1 = 5°47'$. On se rappelle que $\rho = \frac{1000^{\mu}}{178}$.

Ces nombres donnent $A = 1,2539$, d'où $k_0 = 4,938$, d'où je conclus que $k_0 = 5$. Ainsi la lame est de cinq ondes pour la longueur d'onde $\lambda_0 = \rho \sin \delta_0$, c'est-à-dire $0^{\mu},4609$; elle est de quatre ondes pour la longueur d'onde $\lambda_1 = \rho \sin \delta_1$, ou $0^{\mu},5658$. Celle-ci est bien, en effet, à peu près la longueur moyenne qu'on appelle *longueur d'onde du blanc* dans l'emploi de la méthode des couleurs de Biot; aussi M. Laurent avait désigné cette lame sous le nom de *lame quatre ondes*.

Enfin, si au moyen de chacune des deux équations

$$e\left(\frac{\alpha}{\rho \sin \delta_0} + \frac{\beta}{\rho^2 \sin^2 \delta_0}\right) = 5,$$

$$e\left(\frac{\alpha}{\rho \sin \delta_1} + \frac{\beta}{\rho^2 \sin^2 \delta_1}\right) = 4,$$

où maintenant tout est connu excepté l'épaisseur e, nous calculons cette épaisseur, la première donne $e = 246^{\mu},9$, la seconde $e = 247^{\mu},1$, d'où 247^{μ} pour la valeur de e. La méthode de Biot lui aurait assigné l'épaisseur trop faible de 224^{μ} environ.

Tandis que la méthode de Biot ne réussit qu'avec des lames d'épaisseur inférieure à une certaine limite, le procédé qui précède,

au contraire, n'est applicable qu'à des lames d'épaisseur supérieure à une limite déterminée ; mais, de même que Biot étendait la méthode des couleurs à des lames trop épaisses pour en donner seules [1], en les croisant avec une lame connue de même substance, on peut étendre le procédé précédent à des lames trop minces en y adjoignant parallèlement une lame semblable déjà étudiée. De l'épaisseur totale obtenue on retranche l'épaisseur connue de la lame auxiliaire.

Comme on a autant d'équations que de bandes, on peut, dans le cas de lames assez épaisses, former plusieurs couples ou pointer des bandes distantes de 1, 2, 3,....

Enfin, au lieu de croiser les nicols, on peut les mettre parallèles. Les nombres auxquels correspondent les bandes sont alors, comme on l'a vu, de la forme $\frac{2k+1}{2}$. On a par là une nouvelle série de mesures qui avaient pour mon sujet une importance spéciale, en ce qu'elles me donnaient immédiatement l'ordre de la dernière bande noire visible dans la disposition même où seront faites les mesures calorifiques. Ainsi, dans cette disposition, la dernière bande noire visible du côté rouge de la lame n° 3 dont j'ai parlé tout à l'heure correspondait au nombre $\frac{7}{2}$ et à une longueur d'onde $0^{\mu},6348$.

Pour résumer, on voit donc que j'ai pu réunir pour chacune des lames de quartz que j'ai employées les données analogues aux suivantes.

La lame n° 3 a une épaisseur de 247^{μ}, et, si elle est placée entre les nicols parallèles, sa dernière bande noire du côté rouge du spectre lumineux correspond à une différence de phase égale à $\frac{7}{2}$. J'ai donc à attendre de cette lame, si toutefois le spectre calorifique est suffisamment étendu, les bandes successives $\frac{5}{2}$, $\frac{3}{2}$ et $\frac{1}{2}$.

Bien que cela sorte du sujet de ce travail, il ne paraîtra peut-être pas sans intérêt que j'indique sommairement ici deux appli-

---

[1] *Traité de Physique théorique et expérimentale*, t. IV, p. 411 et suiv.

cations qui me semblent pouvoir être faites de la méthode qui vient d'être exposée.

La première serait la comparaison du pas de la vis d'un sphéromètre au millimètre de Fraunhofer ou, si l'on aime mieux, à la longueur d'onde de la raie D_1. Une lame de quartz parallèle, non collée sur verre et mesurée à un sphéromètre Cauchoix du laboratoire, m'a donné $1^{mm},002$. La plaçant dans le système polariseur, j'y ai pointé sans trop de soin sept bandes dans le cas des nicols croisés, deux pour vérification dans le cas des nicols parallèles. Le nombre k_0, se rapportant dans le premier cas à la bande la plus diffractée, a été trouvé 14,1, d'où 14. En calculant les épaisseurs fournies par les neuf bandes pointées, j'ai trouvé $985^{\mu},24$, $984^{\mu},68$, $985^{\mu},4$, $984^{\mu},63$, $984^{\mu},01$, $984^{\mu},63$, $984^{\mu},95$, $984^{\mu},99$, dont le plus grand écart est $1^{\mu},86$ et dont la valeur moyenne $984^{\mu},86$ ne s'éloigne que de $0^{\mu},85$ de la valeur qui en diffère le plus.

Il résulterait que le millimètre du sphéromètre employé vaut à très peu près $\frac{984,86}{1002}$ millimètres de Fraunhofer ou

$$\frac{984,86}{1002 \times 0,0005888} = 1669$$

longueurs d'ondulation de la raie D_1.

Tout ce qui précède ne s'applique qu'à des lames d'une substance dont on connaît les indices par rapport à un nombre suffisant de longueurs d'onde. La seconde application que je propose a trait à des lames d'une substance dont on ne connaîtrait aucun indice. Dans le travail que j'ai rappelé au début, MM. Fizeau et Foucault [1] ont fait remarquer que, si l'on connaissait le nombre k se rapportant à l'une des bandes, on en déduirait le nombre propre à chacune des autres, et par suite les diverses valeurs que prend avec la longueur d'onde le produit $e(n' - n)$, c'est-à-dire la *dispersion de double réfraction de la lame*. Mais le procédé qu'ils indiquent pour la détermination de ce nombre k n'est pas, en général, praticable. Or, si l'on admet *a priori* le développement en

---

[1] *Loc. cit.*, p. 146.

série sous la forme $a + \frac{b}{\lambda^2} + \cdots$ de $n' - n$, ce que toutes les déterminations d'indices effectuées montrent comme n'étant jamais loin de la vérité, il suffira de prendre dans notre système d'équations une équation de plus qu'on n'a admis de constantes, et, en éliminant les produits ea, eb, on obtiendra le nombre k.

Je l'ai fait avec une lame de gypse. En prenant seulement deux constantes et les trois équations fournies par les trois premières bandes, j'ai obtenu, pour k, 10,09, d'où 10. En calculant alors les valeurs successives du produit $e(n - n')$ correspondant aux $\lambda = \rho \sin \delta$ des bandes, j'ai pu former le Tableau suivant :

Longueurs d'onde.	$e(n - n')$.
$0^{\mu},5903$	5,908
0,5363	5,897
0,5125	5,893
0,4910	5,891
0,4543	5,896
0,4214	5,903

qui montre que la différence $n - n'$ des deux indices principaux du gypse passe par un minimum dans les environs de la longueur d'onde $0^{\mu},4910$, c'est-à-dire entre E et F.

M. von Lang [1], dans des mesures d'indices faites par la méthode des prismes, a constaté ce minimum vers E.

Pile au chlorure de chaux; par M. Alf. Niaudet.

Les électrodes de cette pile sont de zinc et de charbon. Le zinc baigne dans une solution de sel marin; il convient d'employer la proportion de 24 de sel pour 100 d'eau, qui donne le maximum de conductibilité. Cette solution n'est pas saturée et peut dissoudre sans peine le chlorure de calcium qui prend naissance dans la pile. Le sel marin donne à la pile une force électromotrice supérieure à celle qu'on obtiendrait avec les autres chlorures et d'autres li-

---

[1] Voir *Journal de Physique*, t. VII, p. 277.

quides qui ont été essayés. Ce fait est d'accord avec les expériences de Poggendorff (rapportées par M. Wiedemann dans son Traité, 2e édition) sur la pile de Grove; il obtenait une force électromotrice plus grande avec de l'eau salée qu'avec de l'acide sulfurique étendu seulement de quatre fois son poids d'eau.

Le charbon est placé dans un vase poreux avec du chlorure de chaux. Cette matière est un mélange de chaux, d'hypochlorite de chaux et de chlorure de calcium. Ce dernier se dissout immédiatement quand on monte la pile. L'acide hypochloreux se décompose sous l'influence de l'hydrogène de polarisation; de l'eau et de l'acide chlorhydrique se forment, mais ce dernier s'unit à la chaux et donne du chlorure de calcium.

Les seuls produits de l'action de la pile sont donc de l'eau et du chlorure de calcium; ce sel est, comme on sait, l'un des corps les plus solubles qu'on connaisse. L'expérience montre en effet que le liquide conserve sa limpidité; il ne se forme aucun sel insoluble par suite de réactions secondaires.

La force électromotrice a été trouvée égale à 1,6 volt au début. La pile n'est pas complètement dépolarisée par le chlorure de chaux; elle se polarise quand on ferme le circuit sur une résistance peu considérable; elle se dépolarise par un repos peu prolongé. Mais elle ne reprend jamais toute sa force électromotrice première, et cette particularité, qui s'observe dans toutes les piles non complètement dépolarisées, ne paraît pas facile à expliquer.

Le principal mérite de cette pile est que le zinc n'est absolument pas attaqué par les liquides aussi longtemps que le circuit est ouvert; en d'autres termes, il n'y a aucun travail chimique qui ne réponde à une production corrélative d'électricité utile ou utilisable. Cet avantage se rencontre jusqu'ici seulement dans un petit nombre de piles, et c'est M. Leclanché qui a montré le premier que de pareilles combinaisons voltaïques étaient réalisables.

Le chlorure de chaux gênerait par son odeur, si l'on n'avait la précaution de clore le vase qui contient l'élément avec un bouchon de liège recouvert de cire. Cette disposition supprime toute évaporation en même temps que toute perte de matière active. Un trou est ménagé dans le bouchon pour introduire l'eau au moment où l'on veut mettre la pile en action.

On peut employer, au lieu d'un vase de porcelaine poreuse, des

vases à fond de bois formés ou de toile à voile ou de papier parchemin, qui diminuent la résistance intérieure de l'élément.

On peut encore, dans le même but, employer des électrodes de charbon creuses et contenant le chlorure de chaux, ce qui dispense de tout vase poreux spécial.

SÉANCE DU 21 NOVEMBRE 1879.

PRÉSIDENCE DE M. MASCART.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 7 novembre est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. Garnuchot, professeur de Mathématiques au Collège de Melun;

Louis Kuhn, professeur de Physique au Lycée Temesvar (Hongrie);

de Meaux, chef de bureau au Ministère des Postes et Télégraphes;

Vagniez Fiquet-Benoni, négociant à Amiens.

M. Gouy expose à la Société les méthodes qu'il emploie dans ses recherches photométriques sur les flammes colorées.

M. Mercadier décrit le micromètre qu'il a inventé pour la mesure de l'amplitude des vibrations d'un diapason, ou plus généralement d'un corps vibrant présentant assez de masse pour que l'on puisse y coller une petite lame de papier. L'expérience est répétée en projection devant la Société.

Méthode employée dans les recherches photométriques sur les flammes colorées; par M. A Gouy.

Les propriétés optiques des vapeurs métalliques incandescentes ont été l'objet d'un grand nombre de travaux, dont quelques-uns

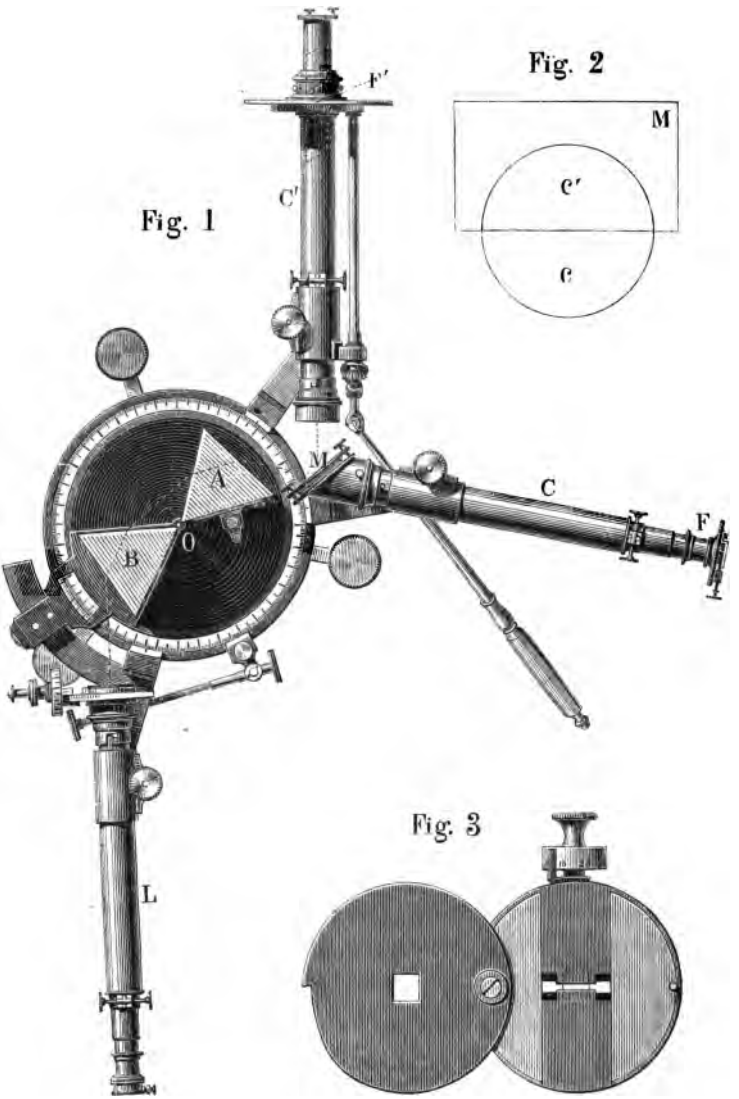
sont devenus classiques, et qui ont eu pour objet principal la description exacte des spectres donnés par les vapeurs et les gaz incandescents. Il en résulte que l'analyse spectrale, envisagée au point de vue chimique, est aujourd'hui établie sur des bases solides et permet, en étudiant le rayonnement du Soleil ou d'une étoile, de reconnaître la plupart des substances qui forment la surface incandescente. Mais il n'en est pas de même de l'état physique de ces substances et, en l'absence de données sur ce point, il est impossible actuellement de reconnaître la température, l'épaisseur et la densité d'une couche de vapeur par l'étude de son rayonnement.

En effet, nous ne savons rien de précis sur l'influence de la densité et de la température. Quant à l'épaisseur, la théorie nous apprend que l'intensité d'un rayon simple est proportionnelle à $1 - e^{-mE}$, E étant l'épaisseur de la couche, supposée homogène, et m un coefficient qui dépend de la longueur d'onde. Mais cette formule n'est pas immédiatement applicable. En effet, il est facile de démontrer qu'une raie ne peut jamais être composée d'un rayon simple ou de longueur d'onde unique, mais résulte nécessairement du groupement d'une infinité de rayons voisins ([1]); en d'autres termes, que l'intensité du rayonnement est une fonction continue de la longueur d'onde λ, fonction dont le maximum forme la raie. Dès lors, l'intensité de la raie est proportionnelle à l'intégrale $\int(1 - e^{-mE})d\lambda$, prise entre des limites convenables; la variation de l'intensité avec E dépend donc de la fonction inconnue qui lie m à λ. Ces diverses questions exigeaient donc de nouvelles recherches, et il était nécessaire de procéder à des mesures photométriques.

L'appareil que j'ai employé pour ces mesures a la forme générale d'un spectroscope à deux prismes (*fig.* 1). Le collimateur C a son objectif à demi recouvert par un miroir plan M, sur lequel se réfléchissent les rayons sortis d'un second collimateur C′;

([1]) On trouvera cette démonstration, avec d'autres détails que je ne puis donner ici, dans un Mémoire publié dans les *Annales de Chimie et de Physique*, 5e série, t. XVIII, p. 5. Je profite de l'occasion pour rectifier, dans cette démonstration, un *lapsus* d'ailleurs facile à reconnaître : il y est dit, page 10, qu'un élément infiniment petit ω reçoit une quantité finie de lumière, ce qui n'a pas de sens; l'élément ω doit être regardé comme ayant une surface très petite, mais déterminée.

ces rayons, après réflexion, deviennent parallèles aux rayons sortis de C, et, par suite, au foyer de la lunette L, nous aurons



deux spectres en coïncidence exacte, fournis l'un par C, l'autre par C'. Ce dernier spectre est continu et donné par une lampe

à gaz; le spectre donné par C est, au contraire, un spectre de raies, fourni par la flamme colorée que l'on place devant la fente F. La lunette L, au lieu d'oculaire, porte à son foyer une fente verticale qui ne laisse passer qu'une portion très limitée du spectre (*fig.* 3). L'œil placé derrière cette fente voit, à travers les prismes, la moitié inférieure de l'objectif de C, et, réfléchie sur le miroir, la moitié supérieure de l'objectif de C′, sous l'aspect de deux demi-cercles lumineux de même nuance, c et c' (*fig.* 2). On peut leur donner le même éclat en faisant varier l'éclat de c' au moyen de deux nicols dont est muni le collimateur C′. L'angle des deux nicols donne les éléments de la mesure photométrique.

Les flammes colorées employées dans ces expériences devaient, pour donner des résultats utiles, être homogènes et d'éclat constant. Pour réaliser ces deux conditions, j'ai employé la méthode suivante. De l'air comprimé passe dans un pulvérisateur et réduit en poussière une solution saline convenablement choisie. Cet air, chargé de poussière saline, se mélange au gaz d'éclairage dans un appareil régulateur, et le mélange, homogène et de proportions constantes, vient brûler dans des lampes formées d'un simple tube cylindrique. Au besoin, cette flamme peut être enfermée dans une autre flamme incolore de même température, pour la préserver de l'influence de l'air extérieur.

Sur la détermination des éléments d'un mouvement vibratoire; par M. E. Mercadier.

1. On sait que l'équation générale d'un mouvement vibratoire pendulaire est

$$y = a \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} + \varphi\right),$$

dans laquelle y représente le déplacement variable avec le temps t.

Les éléments caractéristiques de ce mouvement sont : 1° la demi-amplitude a dont le carré est proportionel à la force vive moyenne du mouvement, correspondant à ce qu'on nomme l'*intensité* du son

qui peut en résulter; 2° la durée T de la *période*, ou, ce qui revient au même, le nombre de vibrations doubles effectuées dans une seconde, correspondant à la *hauteur* du son produit; 3° la phase φ du mouvement, c'est-à-dire la fraction de la durée de la période qui sépare de l'origine du temps l'instant de l'origine du déplacement.

Dans la théorie qui conduit à l'équation ci-dessus, on admet que a et T sont des constantes indépendantes l'une de l'autre. Il est vrai qu'on suppose les amplitudes très petites. Au point de vue pratique, cette restriction n'a qu'une faible importance. J'ai fait voir, en effet, notamment (voir *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, octobre 1876), que l'on peut faire varier l'amplitude du mouvement vibratoire d'un diapason de $0^m,0005$ à $0^m,005$ sans que la valeur de la période soit sensiblement altérée en valeur absolue quand on la détermine directement, par voie d'enregistrement graphique par exemple.

Mais, quand il s'agit de comparer les périodes de deux mouvements, par exemple, à l'aide de méthodes optiques à grande sensibilité, l'influence de l'amplitude sur la période peut devenir manifeste, et la question de vérifier la constance de l'amplitude d'un mouvement, de la maintenir au besoin et de la mesurer présente un intérêt qui peut devenir capital dans certaines recherches.

D'autre part, la même question présente un intérêt plus grand encore quand on veut arriver à constituer une méthode précise de *phonométrie*, c'est-à-dire de comparaison des *intensités sonores*, semblable à ce qu'est la *photométrie* pour les vibrations lumineuses.

C'est ainsi que j'ai été conduit à m'occuper de ce sujet de recherches, qui ne paraît pas avoir été étudié jusqu'ici, du moins à ma connaissance, avec toute l'attention qu'il mérite.

Cette étude fait l'objet de ce Mémoire.

MESURE DES AMPLITUDES; MOYEN DE LES MAINTENIR CONSTANTES.

Premier cas. — *L'amplitude du mouvement est variable.*

2. En ce cas, suivant la nature du corps vibrant, on peut employer des procédés optiques de mesure un peu différents.

Si l'on a affaire à des corps minces, comme une corde, une tige très légère, etc., sur lesquels on ne peut placer un autre corps, comme un style, sans altérer le mouvement, on peut les projeter, à l'aide d'un faisceau lumineux parallèle, sur une échelle divisée. On peut encore déterminer à la surface du corps vibrant un point brillant avec un fragment de feuille d'or, ou un grain de poussière d'antimoine (comme l'a indiqué M. Terquem), et superposer dans le plan focal d'une lunette l'image du point lumineux et celle d'une règle divisée.

On pourra ainsi suivre et évaluer la variation d'amplitude du mouvement en un point quelconque du corps vibrant.

Cela suppose, il est vrai, que le nombre des vibrations du corps soit suffisant pour que, en vertu de la persistance des impressions sur la rétine, le point brillant paraisse former une trace continue. Nous reviendrons là-dessus tout à l'heure.

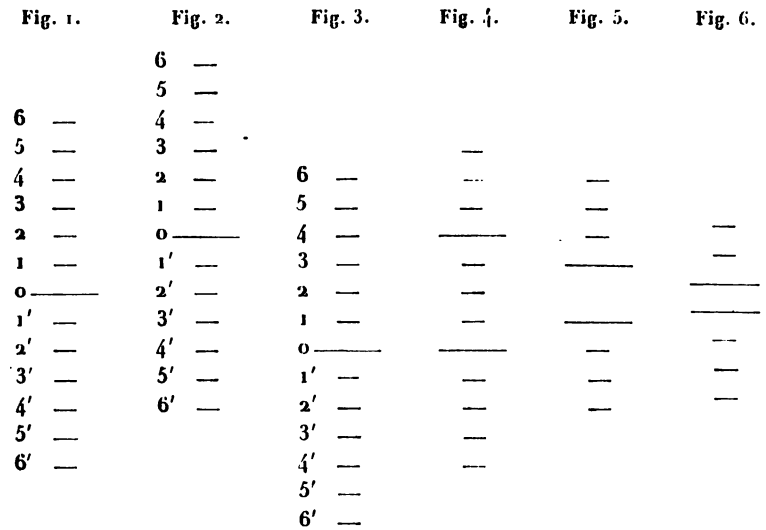
3. Très souvent, on peut tracer sans inconvénient des traits sur le corps vibrant, ou bien on peut fixer sur lui un corps léger, comme un style, un morceau de papier un peu épais : c'est, par exemple, le cas des tiges, plaques ou lames vibrantes, des diapasons, etc. En ce cas, on peut, en fixant un style de longueur connue, enregistrer les vibrations en spires serrées sur un cylindre enfumé, mesurer après coup l'amplitude à l'extrémité du style et en déduire celle d'un point du corps vibrant. J'ai employé plusieurs fois ce procédé.

Mais cette méthode exige les accessoires ordinaires de l'enregistrement des mouvements vibratoires, et elle pourrait être inapplicable dans une foule de cas où la mesure de l'amplitude du mouvement n'est que la partie accessoire d'une expérience, et aussi dans le cas où l'on a besoin d'apprécier l'amplitude dans le cours d'une expérience, *immédiatement* et non après coup, ou de suivre au fur et à mesure ses variations. C'est en vue de ces cas nombreux que j'ai imaginé le procédé suivant, plus simple que le précédent, et qui constitue ce qu'on pourrait appeler un *micromètre vibrant*.

On trace sur le corps lui-même une échelle de traits équidistants, de $0^{mm},5$ par exemple, ou bien on les trace en noir sur une bande mince de papier épais blanc qu'on colle ensuite sur le corps vibrant, la division du milieu dépassant un peu les autres.

Pendant le mouvement les divisions s'entre-croiseront, et il pourra arriver deux cas : ou bien l'amplitude sera un multiple exact de la longueur d'une division, ou elle ne le sera pas.

Considérons le premier cas ; supposons, pour fixer les idées, que l'amplitude soit égale à 4 divisions, et que la vibration s'effectue verticalement :



La *fig.* 1 représente la division quand le corps est en repos.

La *fig.* 2 la représente lorsque le corps, se trouvant à l'une de ses positions extrêmes, y est supposé arrêté un instant.

La *fig.* 3 la représente dans les mêmes conditions, mais à la position extrême opposée.

En vertu de la persistance des impressions lumineuses rapides, l'œil croira voir une figure *stable* formée de la superposition des traits en coïncidence des *fig.* 2 et 3, de telle sorte, que l'aspect définitif sera celui que représente la *fig.* 4. Le long trait marqué zéro paraît dédoublé ; les traits tels que 3 — 1', 2 — 2', 1 — 3' paraissent superposés : le nombre des intervalles compris entre les images du trait zéro représente précisément la grandeur de l'amplitude en divisions (quatre dans le cas actuel).

La *fig.* 5 se rapporte au cas où l'amplitude est égale à deux divisions : la *fig.* 6 au cas où elle est égale à une division.

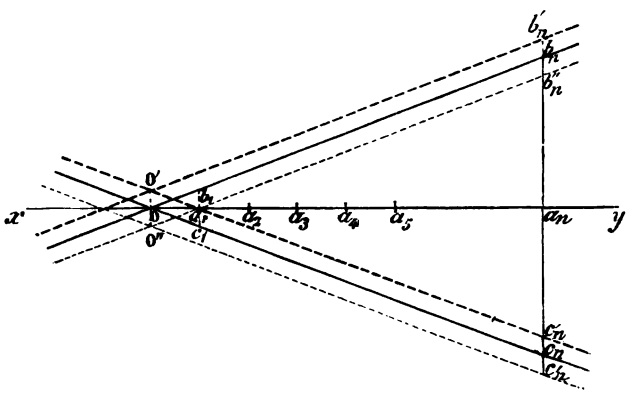
Supposons maintenant que l'amplitude ne soit pas un multiple exact de la longueur d'une division.

En ce cas, il ne se produit plus de coïncidence apparente des traits ni entre les deux images du trait zéro, ni en dehors ; on a alors une figure estompée de gris qui ne peut donner aucune mesure de l'amplitude.

Si donc l'amplitude varie progressivement, on voit *alternativement* des figures estompées et des figures nettes comme les *fig.* 4, 5 et 6, et l'on peut apprécier l'instant où l'amplitude est égale à 1, 2, 3, 4, ... divisions de l'échelle. Mais on ne peut ainsi faire d'évaluations intermédiaires.

4. On améliore beaucoup cette méthode et l'on peut mesurer des amplitudes *quelconques*, en modifiant le procédé ci-dessus de la manière suivante.

Fig. 7.



Sur le corps lui-même ou sur un morceau de papier, on trace un axe xy et une échelle O, a_1, a_2, a_3, ..., a_n de n divisions; on élève en a_n des perpendiculaires $a_n b_n$, $a_n c_n$ égales à p divisions; on trace l'angle $b_n O c_n$. On colle cette figure sur le corps vibrant.

Si la direction des vibrations est perpendiculaire à xy, on voit se former deux angles opposés dont le sommet partant de O parcourt de gauche à droite l'axe xy d'un mouvement continu, l'angle de droite restant blanc, tandis que l'autre est teinté de noir, ce qui donne la position du sommet avec une grande netteté. L'explication du phénomène est évidente.

Il est aisé de déduire de là l'amplitude correspondante.

En effet, supposons le sommet de l'angle apparent sur le premier trait a_1. A ce moment, l'angle réel occupe à l'extrémité supérieure de la vibration la position $b'_n O' c'_n$ et à l'extrémité inférieure la position $b''_n O'' c''_n$. L'amplitude est $O'O''$.

Or si l'on mène par a_1 la ligne $b_1 c_1$ perpendiculaire à xy, il est évident que l'on a

$$O'O'' = b_1 c_1.$$

Mais

$$\frac{b_1 c_1}{1} = \frac{b_n c_n}{O a_n} = \frac{2p}{n},$$

d'où

$$O'O'' = b_1 c_1 = \frac{2p}{n}.$$

En général, $O'O'' = 2m\frac{p}{n}$ si m est le nombre de divisions parcourues par le sommet de l'angle.

Si donc la longueur de la division est connue, $O'O''$ est déterminé.

Habituellement, les amplitudes à mesurer ne dépassent pas $0^m,005$. On peut prendre $O a_n = 0^m,030$, chaque division étant de $0^m,001$; en prenant $a_n b_n = 0^m,003$, de façon que la pente des deux lignes de l'angle soit de $\frac{1}{10}$, on voit que, lorsque le sommet O atteindra la première division a_1, l'amplitude sera de $\frac{2}{10}$ de millimètre; lorsqu'il atteindra la seconde a_2, elle sera de $\frac{4}{10}$, et ainsi de suite.

On peut suivre ainsi nettement les variations de l'amplitude de 2 en 2 dixièmes de millimètre. Si l'on divisait $O a_n$ en demi-millimètres, on suivrait la variation de dixième en dixième de millimètre.

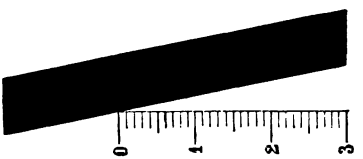
5. Il est à remarquer que le dispositif ci-dessus peut être simplifié : il suffirait d'un axe tel que xy et d'une seule ligne inclinée au dixième au lieu de deux; mais l'effet produit sur l'œil est un peu moins net. La *fig.* 8 représente un micromètre vibrant de ce genre, à pente de $\frac{2}{10}$; un côté de la figure est noirci pour que le sommet de l'angle soit plus net.

On peut d'ailleurs projeter les divers aspects de la figure en la

traçant en noir sur une lame transparente ou en traits transparents sur une lame de verre argentée, en l'éclairant avec un faisceau lumineux parallèle et en produisant avec une lentille, à la manière ordinaire, une image réelle des traits. Pour des mesures précises, on peut tracer des traits plus rapprochés et observer au microscope.

Il va sans dire que la figure doit être fixée au corps vibrant, de façon que tous ses points aient la même amplitude. Pour un diapason, par exemple, il faut la fixer à l'extrémité des branches, à

Fig. 8.



plat, sur la section droite. La grandeur de la lame de papier ou de verre sur laquelle se fait le tracé est d'ailleurs assez petite, même pour des observations à l'œil nu; pour des amplitudes variant de 0^{mm} à $0^{m},006$, une lame de $0^{m},004$ de base sur $0^{m},010$ de hauteur suffit parfaitement.

Quoique l'amplitude soit supposée variable, cette méthode peut servir à étudier des phénomènes qui se produisent pour une valeur *déterminée* de l'amplitude, car on peut saisir et noter exactement l'instant où cette valeur se produit. A ce point de vue, la méthode peut rendre des services dans un certain genre de recherches.

Mais il en est d'autres qui exigent que l'amplitude reste constante ou à très peu près. Nous allons maintenant examiner ce cas.

Deuxième cas. — *L'amplitude du mouvement est constante.*

6. Observons d'abord que la méthode indiquée ci-dessus permet de constater avec précision si l'amplitude reste effectivement constante. On peut alors la mesurer, soit directement par une lecture faite, si c'est nécessaire, à la loupe ou au microscope, soit indirectement et à loisir, après avoir photographié la figure stable, vivement éclairée, qui sert à effectuer la mesure.

Mais on sait qu'il n'existe pas de corps qui, soumis à un mouvement vibratoire et *livré à lui-même,* conserve une amplitude constante, à cause de la résistance de l'air et de la communication du mouvement aux supports : il en résulte, en effet, une perte ou plutôt une transformation d'énergie inévitable. On ne peut donc maintenir l'amplitude constante qu'en restituant au corps vibrant, périodiquement, à des époques convenables, de façon à ne pas altérer les éléments de son mouvement, la portion d'énergie incessamment transformée.

Le meilleur moyen actuellement connu consiste, quand cela est possible, à restituer l'énergie perdue à l'aide d'une attraction électromagnétique de durée très petite, exercée sur le corps vibrant aux moments de l'une de ses élongations maxima. On rend cet effet automatique en faisant fermer à ces moments par le corps lui-même un circuit formé d'une pile et d'un électro-aimant dont le noyau est convenablement placé en face du corps vibrant. En employant, ainsi que je l'ai indiqué en 1873 (¹), un style en acier, en platine ou en argent et un contact platiné pour fermer le circuit en question, on a un procédé sûr, qui a été généralement adopté, d'entretenir le mouvement vibratoire et de lui conserver une amplitude *à peu près* constante si la pile elle-même conserve une intensité constante.

Cette méthode est très générale : elle s'applique immédiatement aux diapasons, aux lames et aux plaques vibrantes en acier, en fer ou en fonte (je me sers actuellement de diapasons en fonte malléable qui fonctionnent très bien ainsi); elle s'applique aux diapasons, lames et plaques faits avec des substances non magnétiques, pourvu qu'on puisse fixer à leur surface une petite masse de fer; elle s'applique aussi aux cordes vibrantes en fixant, si c'est nécessaire, en un point voisin du point d'encastrement, un petit anneau léger en fer et un petit style en acier, etc., etc.

7. Cette méthode étant adoptée, j'ai dû chercher à résoudre le problème suivant :

Donner à volonté à un corps vibrant une amplitude variant

(¹) *Journal de Physique*, t. II, p. 3[illegible]o.

de zéro à une limite déterminée, et maintenir cette amplitude indéfiniment constante, à $\frac{1}{100}$ près, à l'une des valeurs quelconques comprises entre ces limites.

Ce problème revient à donner aux électro-aimants dont l'action périodique régularise le mouvement une énergie constante.

Cette énergie dépend de plusieurs conditions : 1° les dimensions, la nature et le nombre des électro-aimants; 2° l'intensité du courant qui les anime; 3° la position des pôles par rapport aux points du corps qui sont attirés.

Examinons successivement ces trois conditions.

8. Supposons d'abord que la position soit fixe et qu'on ait à sa disposition une pile suffisante pour obtenir le maximum d'effet quand on fait varier la première condition.

Alors il est clair que tout ce qui pourra augmenter l'énergie de l'électro-aimant sera favorable à la solution du problème posé; il faut donc prendre des noyaux en fer très doux, dont les dimensions soient en rapport avec la grandeur et la rigidité du corps vibrant; ceci n'a pas, il est vrai, beaucoup d'importance, car on ne peut, en général, dépasser certaines dimensions assez restreintes. Il n'en est pas de même du nombre des pôles ou des centres d'action électromagnétique. Dans le but de réduire autant que possible le nombre des éléments de pile à employer, j'ai dans ces derniers temps augmenté le nombre des électro-aimants agissants, non pour les faire agir simultanément et de la même manière, ce qui conduirait forcément à augmenter le nombre ou les dimensions des éléments de pile, mais pour les faire agir *successivement,* de la manière suivante.

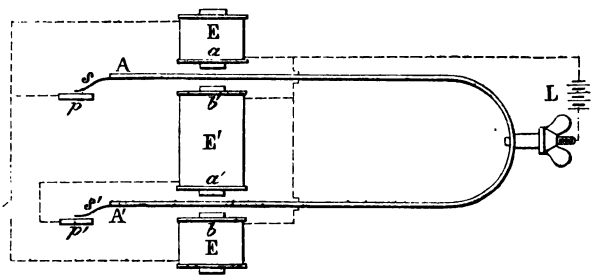
Je n'avais employé jusqu'ici qu'un électro-aimant agissant simultanément par ses deux pôles au moment de l'une des élongations maxima du corps vibrant, et je n'avais ainsi qu'un entretien du mouvement, qu'on peut appeler *simple* ou *à simple effet.* J'ai songé à obtenir un entretien *à double effet* en produisant deux actions électromagnétiques par période au lieu d'une seule : l'une au moment de l'une des élongations maxima; l'autre, *de sens inverse,* au moment de la seconde élongation maxima, qui suit la première à une demi-période d'intervalle. Il suffit pour cela d'ajouter au

corps vibrant un second style, placé convenablement en face d'un second contact platiné, et d'ajouter au système un second électro-aimant.

Le dispositif varie un peu, suivant la nature des corps vibrants. Je vais décrire l'un de ceux que j'ai adoptés pour les électrodiapasons.

La *fig.* 9 représente la projection horizontale du système,

Fig. 9.



A, A', branches du diapason;
s, *s'*, style en acier ou en platine;
p, *p'*, plaques de contact platinées;
E, E', électro-aimants; *a*, *b*, *a'*, *b'* leurs pôles mobiles;
L, pile d'entretien;

avec les communications électriques, indiquées en pointillé. La légende jointe au dessin désigne suffisamment les pièces de l'appareil.

Le diapason étant en mouvement, lorsqu'il est à son élongation maxima *extérieure,* le circuit de la pile est fermé par le diapason, le style *s'*, la plaque *p'*, l'électro-aimant E', qui agit pendant un instant'. Puis les deux branches se rapprochent; quand elles sont arrivées à leur élongation maxima *intérieure,* le circuit est fermé par le style *s*, la plaque *p* et les électro-aimants E, qui agissent *simultanément* par leurs pôles *b* et *a*.

On voit qu'on obtient ainsi, avec une seule pile, véritablement un *double effet*. On peut donc produire ainsi facilement des variations d'amplitude assez grandes, en faisant varier le nombre d'éléments de la pile dont on dispose.

9. Il s'agit maintenant de maintenir constante l'amplitude du corps vibrant pendant plusieurs heures avec une précision assez grande, à $\frac{1}{50}$ ou à $\frac{1}{100}$ près.

On ne saurait pour cela compter seulement sur la constance de la pile.

En effet, l'attraction électromagnétique régulatrice du mouvement s'exerçant pendant un temps très court et devant malgré cela être assez énergique, on doit employer une pile assez forte. A cet effet, on peut recourir à un ou deux éléments Bunsen ou au bichromate de potasse; mais ces éléments ne sont pas constants. On peut prendre des éléments Leclanché, au peroxyde de manganèse et sel ammoniac, en les groupant convenablement; mais ces éléments se polarisent rapidement, et, à moins d'en prendre un assez grand nombre, on ne peut avoir une intensité constante pendant sept ou huit heures de suite, à moins qu'on n'ait besoin que d'une faible intensité.

On obtient un meilleur résultat avec des piles Daniell, modifiées par M. Callaud, par la suppression du diaphragme; mais il en faut un grand nombre groupées à grande surface pour produire l'effet de deux éléments Bunsen, ce qui peut être fort gênant.

On a indiqué, il est vrai, des procédés pour maintenir automatiquement la constance d'une pile; mais ils sont compliqués, et je ne pense pas qu'on puisse les employer ici pratiquement avec succès.

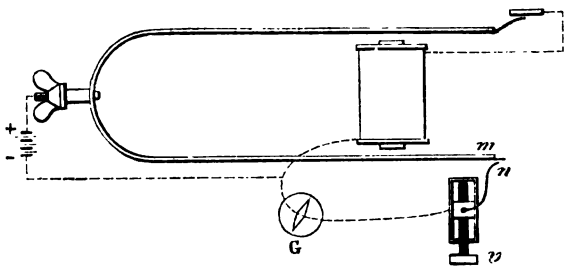
10. On pourrait songer à faire varier l'intensité de la pile, à l'augmenter graduellement, en agissant sur le circuit extérieur et en intercalant entre la pile et l'électro-aimant un rhéostat. Mais cette solution laisserait à désirer au point de vue de la rapidité d'action qui est nécessaire pour rétablir la grandeur d'une amplitude qui diminue; elle exigerait un instrument spécial, qui devrait être en rapport avec la pile et l'électro-aimant employés; elle n'est d'ailleurs pas automatique. Pour ces divers motifs, j'y ai renoncé, au moins provisoirement.

11. Voici une solution meilleure, qui est automatique, et que j'ai déjà employée, dès 1876, dans mes recherches sur l'influence de l'amplitude sur la durée de la période d'un mouvement vibra-

toire (¹). Elle consiste à employer une pile plus énergique qu'il ne faut pour obtenir l'amplitude désirée et à empêcher l'instrument de dépasser cette amplitude.

Pour cela, un ressort léger *n*, mû par une vis à écrou mobile *v*, est approché du corps vibrant, un diapason par exemple, de façon

Fig. 10.



que la distance *mn* soit égale à la moitié de l'amplitude qu'on ne veut pas dépasser; l'écrou qui supporte le ressort est en communication permanente avec le pôle négatif de la pile d'entretien, *sans aucune résistance intermédiaire.*

On voit alors que, dès que le diapason atteint l'amplitude en question, le contact ayant lieu entre *m* et *n*, la pile est dérivée dans un circuit sans résistance, et l'action de l'électro-aimant cesse en très grande partie, pour reprendre dès que le contact *mn* a cessé.

Cette solution a l'inconvénient de compliquer le dispositif de l'instrument, en ajoutant un nouvel appareil aux électro-aimants, styles et plaques de contact qui sont indispensables. De plus, elle suppose que la pile conserve une énergie plus que suffisante pour atteindre l'amplitude désirée. Elle n'est donc réellement automatique qu'à cette condition et ne dispense pas de la surveillance de la pile et du *micromètre vibrant,* sur lequel on apprécie l'amplitude.

(¹) *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences,* octobre 1876; *Annales télégraphiques,* mars et avril 1876. Je n'ai pas publié alors la méthode que j'employais pour maintenir l'amplitude constante, parce que je comptais la perfectionner. M. Marcel Deprez en a trouvé une tout à fait semblable récemment, et l'a appliquée avec succès à la régulation de la vitesse des arbres des machines électromagnétiques.

12. Si l'on n'a pas besoin d'une solution automatique du problème, on peut en trouver plusieurs en faisant varier la position des pôles des électro-aimants par rapport au corps vibrant.

Cette variation peut s'opérer de plusieurs manières. On peut conserver constante la distance des pôles aux points du corps vibrant, mais faire varier la position des électro-aimants par rapport aux supports des corps vibrants ou à leurs nœuds de vibration, par exemple faire glisser les électro-aimants le long des branches d'une lame vibrante ou d'un diapason. J'ai déjà indiqué ce procédé plusieurs fois, notamment dans le *Journal de Physique* (¹). Il n'a qu'un inconvénient : c'est de ne pas être assez rapide, ou plutôt d'exiger un trop grand déplacement de l'électro-aimant le long d'une glissière pour obtenir une faible variation de l'amplitude.

13. On peut encore donner à l'électro-aimant une position fixe et faire varier la distance des pôles aux points attirés, profitant ainsi de la loi rapide de variation de l'attraction électromagnétique avec la distance.

J'emploie depuis longtemps à cet effet plusieurs dispositifs dont le plus simple est représenté en coupe dans la *fig.* 8 ci-dessus. Le noyau de l'électro-aimant est composé de trois parties : un tube en fer doux continu, taraudé intérieurement; deux bouchons creux en fer doux, taraudés extérieurement, dont la longueur est un peu moindre que la moitié du tube : leurs extrémités constituent ainsi les pôles *mobiles* de l'électro-aimant a', b' ; on les fait mouvoir à l'aide d'un levier dont la pointe s'engage dans des trous pratiqués sur la saillie extérieure des bouchons.

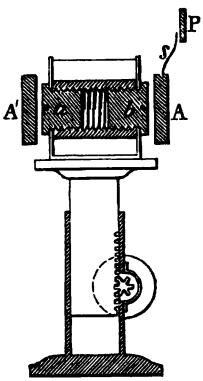
Ce procédé, qu'on peut d'ailleurs combiner avec le précédent, donne de bons résultats.

14. Enfin on peut encore faire varier plus commodément et plus efficacement la position des pôles des électro-aimants, en les déplaçant perpendiculairement au plan de vibration. La *fig.* 8 représente l'un des dispositifs que j'emploie quand il s'agit d'électro-diapasons.

(¹) Tome V, p. 315.

A l'aide de la crémaillère et du pignon P, les électro-aimants peuvent descendre perpendiculairement au plan de vibration, qui est ici horizontal. On peut se rendre clairement compte de l'effet produit par ce mouvement en considérant l'un des pôles, *a'* par exemple, et les lignes de force électromagnétiques issues de ce pôle. Leur nombre ne change pas pendant le mouvement: mais, à

Fig. 11.



mesure que le pôle descend, la branche correspondante du diapason en traverse un nombre de moins en moins grand et de plus en plus obliquement : l'attraction sur la branche diminue donc rapidement.

Cette attraction produit d'ailleurs son effet, même quand les pôles sont en dehors des branches du diapason, au-dessous des points A et A' (voir *fig.* 8) : on peut donc faire parcourir aux pôles, à partir et au-dessous de la position horizontale, une longueur égale environ à la largeur AB de l'instrument ($0^m,02$ à $0^m,03$), et l'on a ainsi le moyen de faire varier immédiatement l'amplitude dans le rapport de 1 à 10 au moins et de la maintenir constante aussi longtemps qu'on veut en faisant mouvoir de temps en temps le pignon P, qui soulève ou abaisse les électro-aimants, suivant les indications du *micromètre vibrant.*

J'ai pu ainsi, avec un électro-diapason de trente périodes par seconde, à l'aide de trois éléments Leclanché, qui n'ont pas été touchés une seule fois, maintenir l'amplitude à $0^m,003$ pendant des

mois entiers, à raison de sept à huit heures de travail par jour, pour des expériences où j'avais besoin de conserver sans cesse cette amplitude.

On obtient des résultats analogues avec des instruments de cent ou deux cents périodes par seconde.

15. Nous avons supposé, dans tout ce qui précède, que le nombre des vibrations du corps vibrant était suffisant pour pouvoir utiliser le phénomène de la persistance des impressions lumineuses sur la rétine, c'est-à-dire que ce nombre n'était pas plus petit que quinze ou vingt par seconde. C'est ce qui arrive ordinairement.

Mais, ayant été conduit à construire des diapasons qui font de six à quinze vibrations doubles par seconde et dont je me sers couramment, j'ai dû me préoccuper de résoudre pour ces instruments le problème indiqué ci-dessus.

Le *micromètre vibrant* n'étant plus applicable ici, je me suis trouvé, dans ce cas, ramené à la solution indiquée au n° 11 (*fig.* 10). En traçant sur la glissière le long de laquelle se meut l'écrou porteur du ressort de contact une division en demi-millimètres et sur l'écrou un vernier au dixième par exemple, ou en graduant la tête de la vis v comme on le fait pour les vis micrométriques, on peut mesurer l'amplitude et la maintenir constante.

Ce dernier point s'obtient comme on l'a vu au n° 11. Quant à la mesure de l'amplitude, elle s'effectue très aisément en intercalant dans le circuit dérivé dont le ressort n fait partie un petit galvanomètre très sensible g. Pour cela, l'appareil étant à l'état de repos, on fait tourner la vis v jusqu'à ce que, le ressort touchant le diapason, le galvanomètre dévie. On note la position de l'écrou; on recule ensuite le ressort; on fait vibrer l'appareil : quand il a atteint son amplitude définitive, on approche de nouveau le ressort n jusqu'au contact du diapason, contact indiqué par la déviation du galvanomètre avec une grande précision. La différence entre la deuxième position de l'écrou et la première donne la demi-amplitude.

L'observation du galvanomètre remplace ici jusqu'à un certain point celle du *micromètre vibrant* dans les appareils plus rapides. Si la pile se maintient suffisamment énergique pour produire une amplitude plus grande que celle à laquelle l'appareil est limité par

la position du ressort, l'aiguille du galvanomètre doit éprouver des oscillations saccadées continuelles : quand ces mouvements brusques cessent, on est sûr que l'amplitude est plus petite que celle qu'on voulait obtenir, et il y a lieu d'y porter remède, soit en augmentant l'énergie de la pile, soit en changeant la position des électro-aimants, comme il est dit au n° 14.

Cette méthode est notamment applicable à un pendule entretenu électriquement.

SÉANCE DU 5 DÉCEMBRE 1879.

PRÉSIDENCE DE M. BERTHELOT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 21 novembre est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. Browne (H.-V.), représentant de la Compagnie *Dired Spanish Telegraph*, à Barcelone (Espagne);
d'Infreville (G.), ingénieur à New-York (États-Unis);
Lechatelier, ingénieur des Mines, professeur de Chimie générale à l'École des Mines;
Mallard, ingénieur en chef des Mines, professeur de Minéralogie à l'École des Mines ;
Rodocanachi (Emmanuel), à Paris.

MM. Vincent et Leclert envoient la description et le dessin d'un rhéostat qu'ils ont imaginé. La pièce essentielle de leur appareil est une roue conductrice à dents aiguës séparées par un corps mauvais conducteur. Un petit ressort appuie sur les dents et peut se déplacer de leur base à leur pointe, de manière à régler les intermittences du courant employé et le rendre équivalent à un courant continu d'intensité donnée.

M. Guébhard décrit et montre en projection les anneaux colorés produits à la surface du mercure par l'haleine ou par une goutte d'un liquide volatil.

Anneaux colorés à la surface du mercure;
par M. Adrien Guébhard.

Lorsqu'on balaye avec soin la pellicule grise que forment au-dessus du mercure impur les oxydes et les poussières, on découvre une surface dont la netteté est momentanément aussi grande et la mobilité toujours beaucoup moindre que celle du mercure chimiquement pur. Il suffit alors du souffle humide de l'haleine pour y développer de magnifiques systèmes de bandes colorées, à la place même où prendrait naissance, dans toute autre condition, une buée aux tons d'argent mat, capable de donner tout au plus quelques *couronnes* de faible intensité.

Ici la vapeur condensée s'étale uniment en nappe mince, d'épaisseur zéro sur les bords, en sorte qu'on voit se produire, de dehors en dedans (c'est-à-dire en sens inverse des dispositions expérimentales habituelles), toutes les nuances des anneaux *transmis* à centre blanc. Ces anneaux, au nombre de six ou sept, au lieu de quatre ou cinq que donne à peine la lentille de Newton, se projettent avec un très grand éclat sur fond blanc, mais sont complètement invisibles sur fond noir. Ils se resserrent, d'ailleurs, à mesure que l'évaporation diminue l'épaisseur de la couche liquide, et l'on voit, comme dans l'appareil de Foucault, mais par un mécanisme et dans un ordre inverses, la nappe centrale prendre successivement toutes les teintes de l'échelle chromatique complémentaire.

A la lumière du sodium, c'est par centaines qu'on peut voir les anneaux noirs se précipiter au centre, en lignes fines et serrées, tandis qu'ils s'étalent d'autres fois avec des largeurs de plusieurs centimètres et de tels écartements qu'on peut arriver, en variant convenablement les incidences, à les dédoubler et à faire surgir dans leurs intervalles le système de la seconde raie du sodium.

Mais le maximum d'éclat et de régularité s'obtient en substituant à la condensation de l'haleine les taches que forment à la surface du mercure certaines substances volatiles. Quelques essences légères se distinguent entre toutes, et en première ligne l'essence commune de pétrole et l'huile de naphte rectifiée : avec quelques gouttes versées sans la moindre précaution, on obtient

des anneaux colorés, parfaitement circulaires, de plusieurs *décimètres* de diamètre, et d'une durée très suffisante pour se prêter aux expériences de projection avec l'appareil horizontal de M. Duboscq. Une goutte d'essence de bergamote, ou encore de citron, portugal, cédrat, donne à la lumière monochromatique des cercles d'une régularité que réalisent à peine les lentilles les plus parfaites, et d'une finesse qui ne saurait être comparée qu'aux stries microscopiques de certaines paillettes de lépidoptères.

Sur le mercure pur, le développement des taches est presque instantané, mais les anneaux moins durables et moins consistants. L'extrême mobilité de la surface, la difficulté de la débarrasser des ternissures, si promptes à se produire à l'air, enfin l'absence presque absolue de tension superficielle pour réagir contre l'irrégularité du dépôt de la goutte : voilà autant de raisons qui rendent peu avantageux l'emploi du mercure pur, sauf dans le cas où l'on voudrait, par des mouvements spécialement imprimés à la masse, modifier la forme de la tache et produire, par exemple, des apparences analogues aux spirales d'Airy. Notons cependant que le thym et le serpolet, quoique avec beaucoup de lenteur, donnent des colorations très durables et d'un très grand éclat.

Mais presque toutes les autres essences de plus fortes densités (lavande, romarin, cumin, fenouil, géranium, menthe anglaise, anis vert, badiane, gaultheria, moutarde, girofle, cannelle, amandes amères, pour ne parler que de celles que j'ai essayées) ne réussissent bien ni sur le mercure purifié, ni sur l'autre. La térébenthine et le pétrole même s'étendent avec une telle lenteur que les anneaux mettent des heures à se développer, tandis que l'alcool et l'éther ordinaires donnent, au contraire, beaucoup trop rapidement des anneaux très pâles et très fugitifs. Les autres alcools, méthylique, propylique, butylique, amylique, ne donnent rien, non plus que les éthers acétique, oxalique, chlorhydrique chloré, œnanthique, benzoïque. Par contre, une trace de ce dernier donne au mercure, avec la propriété de se diviser en nombreuses gouttes irrégulières, celle de reproduire, sous l'influence de l'haleine, des chatoiements opalins d'une très grande vivacité si on les observe à la lumière directe, sur fond noir.

D'autres liquides volatils enfin, le sulfure de carbone, le chlo-

roforme, le chloral anhydre, la benzine, les acides chlorhydrique, acétique, formique, etc., essayés à l'état pur au point de vue spécial des anneaux, ne donnent rien ou presque rien. C'est avec le collodion, en dernier lieu, et avec des vernis, que j'ai obtenu les résultats les plus intéressants. L'éther légèrement collodionné dépose en effet sur le mercure des pellicules qu'on en peut détacher facilement après avoir réglé leur finesse et leurs couleurs pour ainsi dire à volonté, ce qui permet de reprendre avec beaucoup de facilité les remarquables expériences que M. Gripon avait instituées à force d'habileté, mais avec beaucoup de peine, en détachant ces pellicules de la surface du verre. Ici le relèvement des membranes ou leur transport sur papier ne présente aucune difficulté, et l'on arrive, avec un peu d'habitude, à éviter les froncements très réguliers qui se produisent presque toujours et auxquels sont dus, sans doute, les magnifiques tons rouges et verts, veloutés comme ceux de certains cristaux dichroïques de platinocyanure, que prennent, comme teintes complémentaires, les anneaux vus sur fond noir.

D'ailleurs, ces plissements n'existent plus du tout si l'on emploie, au lieu de collodion, des teintures alcooliques très étendues de certains vernis industriels pour métaux : on obtient ainsi une adhérence parfaite, en toutes dimensions, sur carton préalablement verni, et nul doute qu'on ne puisse produire, avec quelques tâtonnements, des figures aussi belles et plus faciles à démontrer que par la gravure sur mica.

SÉANCE DU 19 DÉCEMBRE 1879.

PRÉSIDENCE DE M. CH. PLOIX.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 5 décembre est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. Ehrhart (Théophile), pharmacien à Besançon ;
Thollon, à Paris.

M. Napoli décrit et fait fonctionner sous les yeux de la Société la lampe électrique de Werdermann du nouveau modèle qu'il a imaginé.

M. Reynier élève à cet égard une réclamation de priorité.

M. Tholhon expose ses recherches sur l'étude des protubérances à l'aide des spectroscopes à très grande dispersion.

M. Henry Becquerel présente l'appareil qui lui a servi pour l'étude de la polarisation atmosphérique et l'influence du magnétisme terrestre sur l'atmosphère.

Taches et protubérances solaires observées avec un spectroscope à très grande dispersion; par M. Thollon.

Depuis une vingtaine d'années, les spectroscopistes de tous es pays ont fait d'innombrables observations sur le Soleil. De toutes ces observations, les premières seulement nous ont fourni des déductions certaines; les autres ne se prêtent qu'à des interprétations contestables et contestées. On a dessiné un nombre prodigieux de protubérances; on sait qu'elles sont formées d'hydrogène incandescent, mais on ne connaît pas leur raison d'être, leur mode de formation, la limite extrême qu'elles peuvent atteindre. On a dessiné également un très grand nombre de taches; on possède sur leur périodicité, sur leur distribution à la surface du Soleil, des données précieuses, sans doute, mais on ne sait pas encore ce que c'est qu'une tache. Ces phénomènes si remarquables demandent à être étudiés dans des conditions différentes, qui nous permettent de voir plus et mieux.

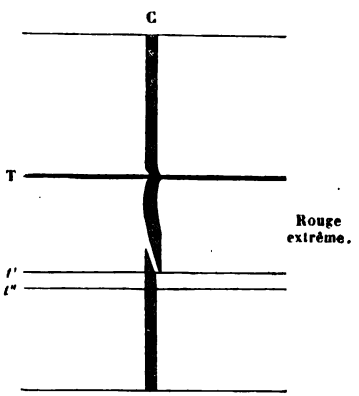
Le spectroscope, auquel la Physique solaire est redevable des progrès décisifs qu'elle a faits dans ces derniers temps, est destiné sans doute à lui rendre de nouveaux services, mais à la condition que les savants ne dédaigneront pas de s'occuper de son perfectionnement. Nous n'aurons vu tout ce qu'il peut nous montrer dans le Soleil que le jour où on lui aura fait acquérir son maximum de puissance.

L'instrument que j'ai eu l'honneur de présenter au mois de juin dernier n'atteint certainement pas à cette limite, mais il en ap-

proche plus qu'aucun autre. A ce titre, l'application qui peut en être faite aux phénomènes solaires offre un intérêt tout particulier. Il m'a permis, en premier lieu, de faire un dessin du spectre solaire incomparablement plus complet que tous ceux qui ont été publiés jusqu'à ce jour : il contient deux mille quatre cents raies de plus que les Tables d'Angström. L'étude des taches et des protubérances exigeait une installation et des ressources qui me faisaient complètement défaut; le tout m'a été offert avec la plus grande bienveillance à l'Observatoire de Paris par son savant directeur.

Mon premier soin fut de vérifier, par de nombreuses expé-

Fig. 1.

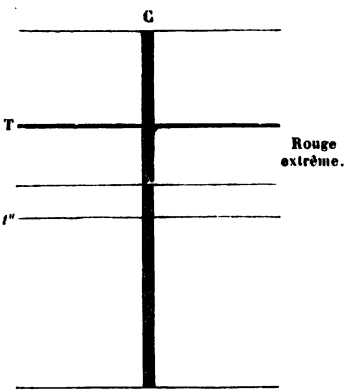


Taches observées le 2 octobre 1879. Bord occidental du Soleil. Observatoire de Paris.

riences sur le Soleil, la loi du déplacement des raies dû au mouvement de la source lumineuse, les résultats obtenus ne me laissant aucun doute sur la réalité de cette loi. Je me suis appliqué à l'observation des taches et des protubérances. La *fig.* 1 représente la raie C dans une région de petites taches où la chromosphère était dans une violente agitation. La raie y était contournée, élargie par places, interrompue même par une bande lumineuse qui la traversait obliquement; elle se résolvait en espèces de granulations très visibles, très irrégulières, que la gravure sur bois ne peut pas reproduire. La particularité la plus importante était présentée par la tache T; quand elle passait sur la fente, la raie C était brusquement déviée du côté du rouge. La *fig.* 2 donne lieu

aux mêmes observations; seulement la gravure n'a pas suffisamment accentué les déviations. Il me paraît important de constate que tous les déplacements de raie que j'ai observés jusqu'à présent dans les taches ont toujours été de même sens et semblent indiquer un mouvement de la périphérie au centre.

Fig. 2.



Taches observées le 8 octobre 1879. Bord oriental du Soleil. Observatoire de Paris.

Dans les rares instants où le ciel s'est trouvé d'une pureté suffisante, les protubérances se sont montrées avec un éclat et une netteté de contours que je ne leur ai pas vus à Rome avec l'appareil du P. Secchi. Celle que représente la *fig.* 3 a été observée le 9 octobre vers le pôle sud. Elle était très brillante et d'une grande netteté; elle avait environ 1',5 de hauteur. Les deux dessins de la *fig.* 4 se rapportent à une autre protubérance, le premier (*a*) telle qu'elle était le 26 octobre à $10^h\ 25^m$ du matin, le deuxième (*b*) à $2^h\ 45^m$ du soir de la même journée. Le matin, sa hauteur comprenait à peu près trois fois la largeur de la fente, qui était de $0^m,002$. Le diamètre de l'image du Soleil formée par une lentille à long foyer étant de $0^m,072$, on a pour la hauteur de la protubérance près de 3', environ 100000^{km}.

La théorie sur laquelle repose l'observation spectroscopique des protubérances démontre que ces phénomènes se voient d'autant mieux dans leurs détails et leurs dimensions que le spectroscope employé a un pouvoir dispersif plus considérable. La puissance de

l'instrument n'a pas pour effet d'amplifier les images, comme dans

Fig. 3.

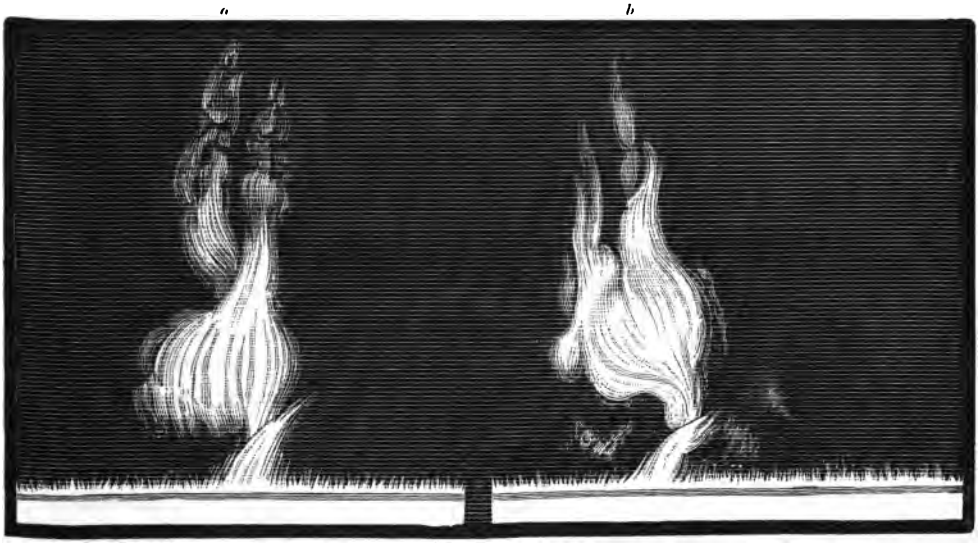
Rouge extrême.

Violet. A

le microscope et la lunette, mais elle rend visibles des portions de protubérances qui échappent absolument à l'observation quand

Fig. 4.

a b

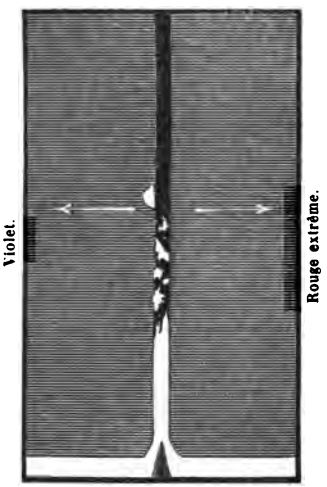


elle est plus petite. Aussi les mêmes protubérances observées avec des instruments de pouvoirs différents n'offrent-elles plus le même

aspect, ni surtout les mêmes dimensions. Les instruments à grande dispersion peuvent donc seuls nous donner une idée à peu près exacte du phénomène.

Sans insister sur les détails, j'appellerai l'attention sur une particularité de la *fig.* 3. En A la fente se trouve débordée par une sorte de cône très lumineux, que j'ai pu observer pendant plus d'une heure et demie. La *fig.* 5 présente un phénomène tout semblable. Une protubérance très brillante, observée seulement avec la fente étroite, illuminait très vivement cette fente; dans sa partie

Fig. 5.



supérieure elle présentait de nombreuses solutions de continuité; à son sommet, la raie C restait obscure dans toute sa largeur et l'illumination se produisait à côté, tout à fait en dehors.

Dans l'état actuel de la Science, de semblables effets ne peuvent s'expliquer que par les mouvements de l'hydrogène incandescent. Mais les deux déplacements observés sont si considérables et impliquent des vitesses si prodigieuses, qu'il reste des doutes sur la réalité de la cause. La *fig.* 5 nous montre en effet un mouvement d'au moins 25^{km} par seconde, se produisant à une grande distance de la surface du Soleil et normalement à la direction de l'un de ses diamètres. En admettant une force capable de produire de telles vitesses, dans le cas actuel, où serait son point d'appui? Si c'était

dans les masses gazeuses elles-mêmes, il se produirait dans ces masses un mouvement en sens inverse qui se serait révélé par une déviation du côté opposé de la raie C. Or il ne s'est rien montré de semblable. La durée du phénomène n'est pas moins surprenante que le phénomène lui-même.

Néanmoins, si l'on considère d'une part que ces grands déplacements ne s'observent que dans les raies de l'hydrogène, d'autre part que la Thermodynamique attribue aux molécules de ce gaz une vitesse moyenne de 2300^m à la température ordinaire, les vitesses qu'il faudrait admettre ne paraissent plus aussi excessives. Comme en outre le spectre de l'hydrogène ne s'obtient qu'à l'aide de l'électricité, il y a lieu d'espérer que la théorie de M. Cornu se vérifiera et expliquera d'une manière satisfaisante ces intéressants phénomènes.

Sur la polarisation atmosphérique et l'influence du magnétisme terrestre sur l'atmosphère; par M. Henri Becquerel.

Les physiciens qui après Arago se sont occupés de la polarisation atmosphérique, et parmi lesquels on peut citer Babinet et Brewster (1), ont admis que le plan de polarisation de la lumière envoyée par un point quelconque du ciel passait par le Soleil ou était perpendiculaire à un plan passant par cet astre. Nous avons été conduit à penser que cette coïncidence ne devait pas exister généralement, et nous nous sommes proposé d'étudier la polarisation atmosphérique à ce nouveau point de vue, en déterminant avec précision les positions relatives du Soleil et du plan de polarisation de la lumière envoyée par l'atmosphère dans une direction quelconque.

Imaginons à chaque instant un plan passant par l'œil de l'observateur, le point visé et le centre du Soleil. Ce plan, que nous appellerons *plan du Soleil,* nous a servi de plan de comparaison, et nous avons déterminé à un même instant, sur un même cercle divisé, sa trace et la trace du plan de polarisation de la lumière

---

(1) Nous citerons également MM. Wheatstone, Quetelet, Delezenne, Rubenson, F. Bernard, Liais et Hagenbach.

envoyée dans une direction perpendiculaire au plan du cercle. L'angle des deux traces mesure l'angle des deux plans. L'appareil que nous avons combiné pour ces déterminations est décrit avec détail dans le Mémoire cité plus haut.

La position du plan de polarisation était obtenue au moyen d'un polariscope de Savart, en observant la disparition des franges, détermination qui peut se faire avec une grande exactitude. Le polariscope était monté au centre d'un cercle divisé, par l'intermédiaire d'un tube en cuivre mobile autour de son axe. A l'extrémité de ce tube, une disposition spéciale permettait d'observer l'ombre d'un point situé sur l'axe optique de l'appareil. On pouvait ainsi amener un plan invariablement lié à l'alidade du cercle divisé à coïncider avec le plan que nous avons appelé le *plan du Soleil* et déterminer la position de la trace de ce plan sur le cercle divisé.

L'appareil était disposé de façon à pouvoir s'orienter dans une direction quelconque.

Les éléments à mesurer varient incessamment par le fait du mouvement de la Terre; on a noté l'heure de chaque observation, et les nombres à comparer entre eux ont été déduits de courbes convenablement tracées.

Depuis deux ans nous avons accumulé de nombreuses observations, qui conduisent, entre autres, aux conclusions suivantes, relatives à un ciel sans nuages.

Le plan de polarisation de la lumière envoyée par un point du ciel ne passe pas généralement par le Soleil; l'angle que fait ce plan avec le plan du Soleil est variable d'un instant à l'autre et toujours tel que le plan de polarisation passe un peu au-dessous du Soleil, entre cet astre et l'horizon.

Lorsque l'on vise un point situé soit vers le nord, soit vers le sud, près de l'horizon, l'angle des deux plans est d'abord assez petit le matin; il augmente jusqu'à un maximum vers 9^h à 10^h, s'annule vers midi, augmente de nouveau jusqu'à un maximum vers 2^h ou 3^h, diminue ensuite et parait devoir s'annuler près du coucher du Soleil.

On a reconnu que, si l'on était à l'abri de toute perturbation, la coïncidence des deux plans devrait avoir lieu au lever et au coucher du Soleil et au moment où cet astre passe dans le plan ver-

tical du point visé. Au zénith, l'expérience vérifie que l'angle des deux plans est toujours sensiblement nul.

Vers l'est ou vers l'ouest on ne trouve généralement pas de coïncidence des deux plans considérés, mais on reconnaît l'existence d'un minimum vers midi. Le matin et le soir, près de l'horizon, l'angle du plan du Soleil et du plan de polarisation est assez grand : il atteint jusqu'à 6° dans nos expériences, mais le voisinage des points neutres apporte des perturbations qui n'ont pas permis de suivre la marche de la polarisation près du lever et du coucher du Soleil.

Voici, comme exemple, quelques-uns des nombres que nous avons obtenus :

Observations faites à la Jacqueminière (*Loiret*). (Latitude, 48° 0′.)

Date.	Heure du chronomètre.	Position du plan du Soleil.	Position du plan de polarisation.	Angle des deux plans.
Près de l'horizon sud. (Dist. zénith. app. = 85°.)				
	h m s	° ′	° ′	° ′
12 août 1879..	7.55.25 M.	209.42	209. 2	—0.40
»	10.23.18	240.40	239. 8	—1.32
»	12.23.48	275. 8	275. 6	—0. 2
»	2.46.12 S.	313.25	315.53	+2.28
11 août.....	3.50.30	326.18	329.18	+3. 0
»	5.27. 7	342.50	344.39	+1.49
»	6.26. 0	351.19	352.28	+1. 9

Le 12 août, le midi vrai est à 11h 55m 26s. Le Soleil passe au plan vertical du point visé à midi 1m.

Observations à l'est. (Dist. zénith. app. = 85°.)

12 août 1879 .	9.50.43	301.28	304.47	+3.44
»	1. 2.20	302.42	303.31	+0.49
»	3.56.59	291.10	296.11	+5. 1

Observations à l'ouest. (Dist. zénith. app. = 83°.)

12 août 1879..	9.14.21 M.	64.28	63.13	—1.15
» .. .	3.15.52 S.	60.33	54.37	—5.56

Nota. — Le signe + indique le sens direct, le signe — le sens rétrograde.

Observations faites à Châtillon-sur-Loing (Loiret). (Latitude, 47° 49′ 22″.)

Près de l'horizon nord. (Dist. zénith. app. = 86° 27′.)

	h m s	° ′	° ′	° ′
4 sept. 1879 .	8.37.14	142. 1	143.43	+1.42
»	9.28.18	130. 4	132.12	+2. 8
»	12. 4.45	84.44	84.51	+0. 7
»	1.24.32	60.58	60. 9	—0.49
»	3. 9.25	34.55	33.41	—1.14

Le midi vrai est à 11h 51m 13s. Le Soleil passe au vertical du point visé à 11h 48m.

Près de l'horizon ouest. (Dist. zénith. app. = 86° 27′.)

4 sept. 1879..	9.58.17	53.26	52.21	—1 15
»	12.27.22	48.34	47.50	—0.44
»	1. 4. 7	47.49	46.42	—1. 7
»	2 44. 8	46.42	42.56	—3.46

La grandeur et les heures des maxima et des minima varient avec les saisons et la hauteur du Soleil aux heures correspondantes.

Pour un point situé en dehors des régions que nous venons d'indiquer, les phénomènes décrits plus haut se superposent en partie, et il en résulte une variation de l'angle des deux plans parfois assez complexe.

Les résultats qui précèdent sont relatifs à la lumière blanche qui traverse le polariscope. Nous avons observé que les rayons de diverses couleurs venant d'une même direction n'ont pas le même plan de polarisation. Ces divers plans varient et par rapport au Soleil et les uns par rapport aux autres, le plan de polarisation des rayons rouges étant en général, dans nos expériences, plus près du Soleil que le plan de polarisation des rayons bleus.

Les variations de l'angle du plan du Soleil et du plan de polarisation peuvent s'expliquer en admettant que dans une direction déterminée l'atmosphère réfléchit tous les rayons qu'elle reçoit, non seulement ceux qui viennent du Soleil, mais aussi ceux qu'envoient l'atmosphère et la Terre elle-même, qui est éclairée.

Nous examinons, dans le Mémoire cité plus haut, les hypothèses que l'on peut faire à ce sujet.

On vient de voir que le plan de polarisation devrait coïncider avec le plan du Soleil lorsque celui-ci est vertical. Or, si l'on vise un point situé près de l'horizon, vers le nord, vers le sud ou mieux près du méridien magnétique, au moment où le plan du Soleil est vertical, le plan de polarisation est dévié d'un petit angle vers l'est, et la coïncidence des deux plans n'a jamais lieu qu'après le passage du Soleil au plan vertical du point visé. Tout se passe comme si le plan de polarisation subissait une rotation dans le sens direct pour un observateur qui aurait la tête vers le nord et les pieds vers le sud.

Voici quelques-uns des nombres observés :

Points visés.	Distance zénithale apparente.	Rotation observée.	Erreur possible.
	° ′	° ′	
Horizon sud.....	85. 0	0.22	± 5′
Horizon nord.....	86.27	0.24	± 5
Méridien magnétique sud..	85.20	0.42	±12
	87.27	0.59	±15

Dans une région perpendiculaire à l'aiguille d'inclinaison, la rotation a été trouvée sensiblement nulle.

Le sens de cette rotation conduit à penser qu'elle est due à l'influence du magnétisme terrestre.

Dans un travail qui n'est pas encore terminé (1), nous avons montré comment on pouvait mesurer le pouvoir rotatoire magnétique de certains gaz, notamment l'air, à la température et à la pression ordinaires, et nous avons mesuré, d'autre part (2), quelle était la rotation du plan de polarisation d'un rayon lumineux traversant une colonne de sulfure de carbone liquide, soumise à l'influence magnétique de la Terre. Les nombres trouvés permettraient de calculer *a priori* la rotation dont il est question ici, à la condition de connaître les distances d'où nous viennent les rayons

(1) *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. LXXXVIII, p. 709, et *Journal de Physique*, t. VIII, p. 198.

(2) *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. LXXXVI, p. 1075.

lumineux que nous étudions. On ne possède aucune donnée sur ces distances; cependant, en faisant diverses hypothèses sur les épaisseurs atmosphériques qui peuvent être traversées par la lumière et en s'appuyant sur les nombres que nous avons donnés, nous avons calculé approximativement les rotations magnétiques limites que l'on pourrait observer sous l'influence terrestre. Les rotations ainsi calculées sont de l'ordre de grandeur des nombres observés. Leur valeur est trop faible pour que l'on puisse conclure de nos expériences que l'influence magnétique de la Terre soit la seule cause de la rotation observée; toutefois, cette influence semble bien manifeste.

En résumé, le présent travail nous a conduit à reconnaître plusieurs faits nouveaux :

1° L'existence d'un angle variable entre le *plan du Soleil* et le plan de polarisation de l'atmosphère en un point quelconque;

2° La variation périodique de cet angle, qui pour un même point visé, dans le cours d'une journée, présente des maxima et des minima; ce phénomène semble lié aux conditions variables d'illumination de l'atmosphère lorsque le Soleil s'élève ou s'abaisse sur l'horizon;

3° La manifestation d'une influence magnétique de la Terre sur l'atmosphère, influence à laquelle on peut attribuer une petite rotation du plan de polarisation de la lumière.

CATALOGUE

DE

LA BIBLIOTHÈQUE

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE.

Comptes rendus de l'Académie des Sciences (1874 à 1879), in-4°.

Annales de Chimie et de Physique (1873 à 1879), in-8°.

Annales de l'École Normale supérieure (2e série, 1873 à 1879), in-4°.

Annales télégraphiques (3e série, 1874 à 1879), in-8°.

Bulletin mensuel de l'Observatoire de Montsouris, publié par M. *Marié-Davy* (1874 à 1877), in-4°.

Bulletin de la Société des Ingénieurs civils (1874 à 1879), in-8°.

Mémoires et Comptes rendus des travaux de la Société des Ingénieurs civils (1874 à 1879), in-8°.

Annuaire météorologique et agricole de l'Observatoire de Montsouris (1873 à 1880), in-18.

L'Aéronaute (juillet 1877 à décembre 1879), in-8°.

Société de Biologie (1869 à 1872), in-8°.

Annuaire de la Société d'Encouragement (1877).

Comité météorologique de l'Ouest méditerranéen (Bulletin du département de l'Hérault, 1874 à 1878), in-4°.

Proceedings of the Royal Society (t. XXIII, nos 156 à 159; t. XXIV à XXIX, nos 164 à 196, 36 livr.), in-8°.

Philosophical Magazine (1873 à 1879), in-8°.

Annales de Poggendorff (1873 à 1879), in-8°.

Bulletin de la Société de Physique de Saint-Pétersbourg (1875, depuis le n° 5, à 1879), in-8°.

Journal of the Society of Telegraph Engineers (1872 à 1877), in-8°.

The Physical Society of London. Proceedings (mars 1874 à octobre 1879), in-8°.

Fortschritte der Physik (1845 à 1875, t. I à XXXI), in-8°, table des t. I à XX.

Bullettino meteorologico dell' Osservatorio del Collegio Romano (1877 à 1879), in-4°.

Rivistà scientifico-industriale, compilata per M. *G. Vimercati*, anno V (janvier à mai 1873).

Crónica cientifica de Barcelone (1878, t. I), in-8°.

Œuvres complètes d'Augustin Fresnel, publiées par MM. *Henri de Senarmont*, *Émile Verdet* et *Léonor Fresnel*, 3 vol. in-4°, 1861.

Œuvres de E. Verdet, publiées par les soins de ses élèves, 9 vol. in-4°, 1869.

Œuvres de L. Foucault. 1 vol. avec planches (1878).

Bulletin trimestriel des publications de la librairie Gauthier-Villars (3e et 4e trim. de 1877, 1er et 2e trim. de 1878).

Le sucre; par M. *Dubrunfaut*, 2 vol. in-8°.

Musée de Kensington. Handboock to the special Loan Collection of Scientific apparatus, 1 vol. in-8° (1876).

Catalogue of the special Loan Collection of Scientific apparatus at the south Kensington-Museum.

Notice sur Flachat; par M. *Malo*, 1 vol. in-8°.

Discours aux funérailles de M. Regnault; par M. *Jamin* (extrait des *Comptes rendus*).

Notice sur le R. P. Secchi; par MM. *Ferrari* (*S.*) et *Marchetti*, br. in-4°.

Notice sur les travaux de M. Romieu, par M. *Roche*, br. in-4°.

Notice historique sur le système métrique, sur ses développements et sur sa propagation (extrait des *Ann. du Conserv. des Arts et Métiers*); par M. le Général *Morin*, in-8°.

Commission internationale du mètre. Procès-verbaux et Séances (1869-1874), 9 broch. in-8°.

Notice sur les objets exposés par le Dépôt des fortifications à l'Exposition universelle (1878); br. in-8°.

Description d'un Baromètre-balance enregistreur; par M. *Crova*, br. in-4°.

Congrès international des sciences géographiques; 2e session (Paris, 1875); Origine et historique du Congrès, broch. in-8°.

Étude sur le mécanisme et la marche des chronomètres; par M. *E. Caspari*, br. in-8°.

Recherches expérimentales sur l'élasticité des gaz; par M. *Mendeleeff* (russe, 1875), in-4°.

Sur la vessie natatoire au point de vue de la station et de la locomotion; par M. *A. Moreau*.

Étude sur l'entraînement de l'air par un jet d'air ou de vapeur (extrait des *Comptes rendus* et des *Mondes*); par M. *F. de Romilly*, br. in-8°.

Nuovo apparato per dimostrare l'eguaglianza della rapidità di caduta di corpi gravi e eggieri; par M. *F. Cecchi*, br. in-8°.

Sur l'invention de quelques étalons naturels de mesure; par M. *G. Govi*, br. in-8°.

Intorno a un congegno per dimostrare varii fenomeni di meccanica molecolare; par M. *G. Govi*, br. in-8°.

Observation sur le langage mathématique et sur l'enseignement du calcul; par M. *V. Tilmant*, br. in-8°.

Réforme analytique de la règle de trois ou règle d'or et Notions d'Analyse mathématique d'après Descartes, Pascal et Arnauld; par M. *V. Tilmant*, br. in-8°.

Du calcul des trajectoires, d'après les expériences de M. Bashforth sur la résistance de l'air; par M. *Sebert*, br. in-8°.

De la résistance de l'air sur les projectiles, d'après les expériences d'Athanase Dupré sur l'écoulement des fluides; par M. *Sebert*, br. in-8°.

Notice sur les appareils Marcel Deprez pour la mesure des pressions des gaz de la poudre; par M. *Sebert*, br. in-8°.

Notice sur l'intégromètre Marcel Deprez et le planimètre Amsler; par M. *Sebert*, br. in-8°.

De la mesure des pressions développées par les gaz de la poudre; par M. *Sebert*, br. in-8°.

Statistique des volumes des équivalents chimiques et d'autres données relatives à leurs propriétés physiques. — Mémoire sur quelques questions moléculaires; par M. *G. West*, 1 vol. in-4°.

Mémoire sur la mesure de la chaleur; par M. *G. West*, br. in-4°.

Mémoire sur l'emploi mécanique de la chaleur; par M. *G. West*, br. in-4°.

Notice sur le gazhydromètre Maumené; par M. *Maumené*, br. in-4°.

Intorno di alcune opere idrauliche antiche rinvenute nella campagna di Roma; par le P. *Secchi*, br. in-4°.

Ricerche fisico-chimiche sui differenti stati allotropici dell' idrogeno; par M. *Donato Tommasi*, br. in-8°.

Intorno ad un nuovo apparato per la trasmissione della forza avuto speciale riguardo alla forza motrice dell'acqua; par M. *Antonio Favaro*, br. in-8°.

Notes chimiques et chimico-physiques; par M. *Melsens*, br. in-8°.

Recherches sur la capillarité dynamique; par M. *Decharme*, 3 br. in-8°.

Mémoire sur la gravitation, sur la cohésion et sur les distances entre les centres des molécules; par M. *G. West*, br. in-4°.

Vitesse du flux thermique dans une barre de fer; par M. *Decharme*, br. in-8°.

New determination of the mechanical equivalent of heat; par M. *Joule*, br. in-4°.

Mémoire sur la transformation et l'équivalence des forces chimiques; par M. *P.-A. Favre*, in-4°.

Conductibilité de la chaleur dans les minéraux; par M. *Ed. Jannettaz*, in-8°.

Question de température (concours 1872); par M. *Melsens*.

La chaleur solaire et ses applications industrielles; par M. *Mouchot*, 1 vol. in-8°.

Experiments on the heat conduction in stone based on Fourier's, « Théorie de la chaleur (2e Partie) »; par *Ayrton* et *John Perry* (Yokohama, 1875), in-8°.

Etude sur la température d'ébullition des spiritueux et sur le dosage de l'alcool au moyen de l'ébullioscope; par M. *J. Salleron*, br. in-8°.

Le moteur hydrothermique; par M. *F. Tommasi*, br. in-8°.

Sull' azione della cosi detta forza catalitica spiegata secondo la theoria termodinamica; par M. *Donato Tommasi*, br. in-8°.

Di un nuovo termometro a gaz a massima e minima, e registratore; par M. *G. Govi*, br. in-8°.

Correzione dei coefficienti nella formola per calcolare le dilatazioni assolute del mercurio; par M. *G. Govi*, br. in-8°.

Application du courant électrique aux recherches de l'état sphéroïdal (en russe); par M. *Hesehus*, br. in-8°.

Il termometro e il barometro della Loggia dell'orgagna in Firenze; par M. *F. Cecchi*, br. in-8°.

Il termometro della Loggia dell'orgagna in Firenze; par M. *F. Cecchi*, br. in-8°.

Piccolo motore a vapore e lampada-bilancia; par M. *Sebastiano Zavaglia*, br. in-8°.

Barometro a peso, manometro regolatore e fornello a petrolio; par M. *Sebastiano Zavaglia*, br. in-8°.

Intorno alla prima idea delle caldaie tubolari; par M. *G. Vimercati*, br. in-8°.

Qualités sonores comparatives des métaux, du bois, des pierres; par M. *Decharme*.

Sur les vibrations transversales des fils et des lames d'une faible épaisseur (extrait des *Annales de l'École Normale*); par M. *Gripon*, br. in-8°.

De l'influence d'une membrane vibrante sur les vibrations d'une colonne d'air; par M. *Gripon*, br. in-4°.

Quelques expériences que l'on peut faire à l'aide d'un diapason; par M. *Gripon*, br. in-8°.

Sur les courbes dues à la combinaison de deux mouvements vibratoires perpendiculaires; par M. *Terquem*, op. in-4°.

Acoustique et optique des salles de réunion; par M. *Lachèz*, 1 vol., 1879.

Sur la détonation des mélanges gazeux; par M. *M. Neyreneuf*, in-8°.

Étude théorique et expérimentale sur les plaques et membranes de forme elliptique; par M. *A. Barthélemy*, br. in-8°.

Le son et la musique, suivi des Causes physiologiques de l'harmonie musicale de M. *H. Helmholtz*, par M. *P. Blaserna*, 1 vol. in-8° relié.

Théorie élémentaire du potentiel; par M. *Abria*, in-8°.

Sifflet électro-automoteur pour locomotives, adopté au chemin de fer du Nord, et autres applications industrielles de l'électro-aimant Hughes; par MM. *Lartigue* et *Forest*, br. in-4°.

Note sur un système d'appareils électro-sémaphoriques (Block-system); par MM. *Lartigue, Tesse* et *Prud'homme*, br. in-4°.

Étude expérimentale sur les phénomènes d'induction électrodynamique (thèse); par M. *Mouton*, in-4°.

Note sur la théorie du téléphone; par M. *Navez*.

Réponse aux Observations de M. du Moncel; par MM. *Navez père* et *fils*.

Discussion sur la théorie du téléphone entre MM. *du Moncel* et *Navez*.

Lettre relative à la Note de MM. Navez père et fils sur la théorie du téléphone; par M. *du Moncel*, br. in-8°.

Du rôle de la Terre dans les transmissions télégraphiques; par M. *Th. du Moncel*, br. in-8°.

Notice sur le coup de foudre de la gare d'Anvers du 10 juillet 1865; par M. *Melsens*, br. in-8°.

Quatrième Note sur les paratonnerres; par M. *Melsens*, br. in-8°.

Cinquième Note sur les paratonnerres. Coût des paratonnerres; par M. *Melsens*, br. in-8°.

De l'application du rhé-électromètre aux paratonnerres des télégraphes; par M. *Melsens*, br. in-8°.

Des paratonnerres à pointes, à conducteurs et à raccordements terrestres multiples (Bruxelles, 1877); par M. *Melsens*, 1 vol. in-8.

Note sur un appareil de M. Melsens dit *rhé-électromètre;* par M. *Hervé Mangon*, br. in-4°.

The resistance of galvanometer coils; par MM. *Ayrton* et *John Perry*, br. in-8°.

The resistance of the electric light (Ext. de la Soc. of Eng. Teleg.); par MM. *Ayrton* et *John Perry*, br. in-8°.

Note on electrolytic polarisation (Extrait); par MM. *Ayrton* et *John Perry*, in-8°.

Manuel de télégraphie sous-marine; par M. *A.-L. Ternant*, 1 vol. in-8°, relié.

Conférence à propos de la pose du câble de Barcelone; par M. *A.-L. Ternant*, br. in-8°.

Construction des câbles; par M. *A.-L. Ternant*, br. in-8°.

Télégraphie Duplex; par M. *A.-L. Ternant*, br. in-8°.

Transmission des signaux par les câbles; par M. *A.-L. Ternant*, br. in-8°.

Le siphon enregistreur de sir W. Thomson; par M. *A.-L. Ternant*, br. in-8°.

Réparations des câbles sous-marins; par M. *A.-L. Ternant*, br. in-8°.

Sur la déperdition de l'électricité dans les gaz, par M. *Bobileff* (en russe), br. in-8.

Sur la déperdition de l'électricité sur les conducteurs composés de parties différentes (en russe); par M. *Bobileff*, br. in-8.

Résistance galvanique des charbons sous diverses températures (en russe); par M. *Bergman*, br. in-8°.

Sur une application de l'éclairage électrique faite à la filature du Champ-du-Pin; par M. *Grosseteste*, br. in-4°.

Machina dielettrica; par M. *F. Cecchi*, br. in-8°.

Sopra la ripostà del sig. prof. Giovani Cantoni all'osservazioni fatte al suo lavoro sull'elettroforo e la polarizzazione elettrostatica; par M. *Alberto de Eccher*, br. in-8°.

The electrical properties of Bee's-Wax and lead chloride (Extrait du Philos. Mag.); par M. *Ayrton*, br. in-8°.

Sopra un' azione ponderomotrice interna della corrente ellettrica; par M. *Roiti*, br. in-8°.

The resistance of the arc of the electric ligth; by *Ayrton* and *John Perry*, br. in-8°.

Note on electrolytic polarisation; by *Ayrton* and *John Perry*, br. in-8°.

Précis instrumental et thérapeutique; par M. *Tripier*, br. in-8°.

Sur l'état électrique dans l'intérieur des bons et des mauvais conducteurs électrisés, par M. *G. Govi*, br. in-8°.

Recherches sur l'induction unipolaire, l'électricité atmosphérique et l'aurore boréale; par M. *Edlund*. br. in-4°.

Théorie des phénomènes électriques; par M. *Edlund*. br. in-4°.

Recherches sur la force électromotrice dans le contact des métaux et sur la modification de cette force par la chaleur; par M. *Edlund*, br. in-4°.

Some electrical experiments, with crystalline selenium; par *Robert Sabine*.

Sui rapporti della pioggia con le pierre dei fiumi, e di un nuovo instrumento per istudiarli di Filicie Matteucci ; par M. *G. Govi*, br. in-8°.

Studi sperimentali sul magnetismo temporario e sul permanente ; par M. *Glisenti*, br. in-8°.

Delle magneti permanenti e dei vari metodi per ottenerle; par M. *Grisenti*, br. in-8°.

Expériences pratiques de la boussole circulaire faites à bord des navires de l'État et de la marine marchande (6e, 7e et 8e édit.); par M. *Duchemin*, 3 br. in-4°.

Mesure de l'intensité calorifique de la radiation solaire en 1874 ; par M. *Crova*, br. in-4°.

Le photomètre électrique (en russe); par M. *Egoroff*, br. in-8°.

Emploi des lames de collodion dans les expériences d'optique ; par M. *Gripon*, br. in-8°.

Rapport sur la construction des appareils photométriques de MM. Dumas et Regnault et en particulier sur une balance à marteau automatique de M. Deleuil; par M. *Le Blanc* (*Félix*), br. in-4°.

Détermination de la vitesse de la lumière d'après les expériences exécutées en 1874 entre l'Observatoire et Montlhéry; par M. *Cornu*, 1 vol. in-4°.

Recherches sur la persistance des actions sur la rétine ; par M. *Melsens*, br. in-8°.

Les prismes polarisateurs (en russe) ; par M. *Bobileff*, br. in-4°.

Les spectres de la chlorophylle; par M. *Chautard*, br. in-8°.

Una Lettra inedita del principe Leopoldo de Medici; par M. *Govi*.

Di alcune nuove camere lucide; par M. *Govi*, br. in-4°.

Intorno agli specchi magici dei Cineti ; par M. *Govi*.

Nuove esperienze sugli specchi magici dei Cineti ; par M. *Govi*.

Illusions astronomiques; par M. *Schwedoff*, br. in-8°.

Azione dei raggi solari sui composti alcidi d'argento; par M. *Donato Tommasi*, br. in-8°.

Description et emploi du télémètre de poche à double réflexion ; par M. *Gaumet*, br. in-8°.

The mirror of Japan and its magic quality; by *Ayrton*, br. in-8°.

The magic mirror of Japan; by *Ayrton* and *J. Perry*, br. in-8°.

Anneaux colorés produits à la surface du mercure; par M. *A. Guébhard*, br. in-8°.

Exposé élémentaire des découvertes de Gauss et de Listing sur les points cardinaux des systèmes dioptriques centrés; par M. *A. Guébhard*, br. in-8°.

Météorologie nautique; vents et courants (1874); par MM. *Ploix* et *Caspari*, br. in-4°.

Sulla pioggia osservata al Collegio Romano dal 1825 al 1874; par le P. *Secchi*, br. in-4°.

Prodromo di un catalogo fisico delle stelle colorate; par le P. *Secchi*, br. in-4°.

Sulla supposta origine cosmica delle aurore polari; par M. *Gori*, opusc. in-18.

Meteorologica Romana; par M. *Ferrari* (*G.-St.*), br. in-4°.

Température et composition des eaux de la Méditerranée; par M. *A.-L. Ternant*, br. in-18.

Note sur l'organisation des études météorologiques en France; par M. *Goulier*, br. in-8°.

Observations météorologiques faites à Lille pendant les années 1876-1877; par M. *Meurien*.

Observations météorologiques faites à Lille pendant les années 1876 à 1878; par M. *Meurien*.

Illusions astronomiques; par M. *Th. Schwedoff*, b. in-8°,

Théorie mathématique des formes cométaires; par M. *Th. Schwedoff*, br. in-8°.

Contributions à l'étude de la grêle et des trombes aspirantes; par M. *Colladon*, br. in-8°.

INSTRUMENTS REÇUS PAR LA SOCIÉTÉ

PENDANT LES ANNÉES 1877-1879.

Dix éléments Grenet; donnés par M. *Ducretet*.
Lanterne de M. Duboscq; donnée par M. *de Romilly*.
Appareil à projection; donné par M. *J. Duboscq*.
Lampe d'émailleur; donnée par M. *Wiesnegg*.
Gazomètre en cuivre; donné par M. *Wiesnegg*.
Rhé-électromètre; donné par M. *Melsens*.

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE,

44, RUE DE RENNES, 44.

(1880.)

BUREAU.

MM. MASCART, *Président.*
CORNU, *Vice-Président.*
D'ALMEIDA, *Secrétaire général.*
LIPPMANN, *Secrétaire.*
DUFET, *Vice-Secrétaire.*
NIAUDET, *Archiviste-Trésorier.*

CONSEIL.

Membres résidants :

MM. BECQUEREL (ED.), 1878.
CAVAILLÉ-COLL.
JOUBERT.
MASCART.

BERGON, 1879.
BISCHOFFSHEIM.
DUMOULIN-FROMENT.
JAMIN.

JANSSEN, 1880.
Ste-CLAIRE DEVILLE (H.).
SALET.
SEBERT.

Membres non-résidants :

MM. ABRIA (Bordeaux), 1878.
CAILLETET (Châtillon-sur-Seine).
LISSAJOUS (Besançon).
WARREN DE LA RUE (Londres).

LECOQ DE BOISBAUDRAN (Cognac), 1879.
VIOLLE (Lyon).
ROSSETTI (Padoue).
TERNANT (Marseille).

BICHAT (Nancy), 1880.
GOVI (Naples).
GRIPON (Rennes).
SCHWEDOFF (Odessa).

MEMBRES HONORAIRES.

Billet, Doyen de la Faculté des Sciences de Dijon.
Broch (O.-J.), Professeur à l'Université de Christiania.
Fizeau (A.-H.-L.), Membre de l'Institut.
Joule (J.-P.), de Manchester.
Plateau (J.), de Gand.
Stokes (G.-G.), Professeur à l'Université de Cambridge.
Sir William Thomson, F.R.S., Professeur à l'Université de Glasgow.

MEMBRES A VIE (1).

MM. Puyfontaine (Comte de), 45, boulevard des Batignolles.
D'Almeida, Inspecteur général de l'Instruction publique, 31, rue Bonaparte.
Warren de la Rue, 7, Portland place, Londres, W.
Berthelot, Membre de l'Institut, 3, rue Mazarine.
Mascart, Professeur au Collège de France, 60, rue de Grenelle de Saint-Germain.
Pérot, Dessinateur et Graveur, 10, rue de Nesles.
Niaudet, Constructeur d'instruments de précision, 6, rue de Seine.
Salet, Préparateur à la Faculté de Médecine, 120, boul. Saint-Germain.
Spottiswoode (W.), Président de la Société royale de Londres, 41, Grosvenor-Place (S. W.), Londres.
Jamin, Membre de l'Institut, 24, rue Soufflot.
Gernez, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 17, rue de Médicis.
Maurat, Professeur au Lycée Saint-Louis, 6, rue Vavin.
Duboscq, Constructeur d'instruments de Physique, 21, rue de l'Odéon.
Tuleu, Ingénieur, 17, rue Visconti.
Fontaine (Hippolyte), 15, rue Drouot.
Duclos, Directeur de l'École Normale de Barcelonnette (Basses-Alpes).
Blavier, Inspecteur divisionnaire des Télégraphes, 62, rue Nicolo.
Hugo (Comte Léopold), 94, rue de la Victoire.
Bischoffsheim (Raphaël-Louis), 34, rue Neuve-des-Mathurins.
Poussin (Alexandre), Ingénieur, à Elbeuf.
Ollivier (A.), Ingénieur civil, 51, boulevard Beaumarchais.

---

(1) Les Membres résidants ou non résidants sont libérés de toute cotisation moyennant un versement unique de 200 francs. Les sommes versées pour rachat des cotisations sont placées et leur revenu seul pourra être employé aux besoins de la Société. (Statuts, Art. IV, dernier paragraphe.)

FERNET, Inspecteur général de l'Instruction publique, 79, rue des Feuillantines.

BARDY, Directeur du Laboratoire central des Contributions indirectes, 26, rue Malesherbes.

ANGOT, Météorologiste titulaire au Bureau central météorologique, 82, rue Grenelle-Saint-Germain.

ALVERGNIAT, Constructeur d'instruments de physique, 10, rue de la Sorbonne.

BRION, Professeur au Lycée Saint-Louis, 6, cité d'Antin.

MUIRHEAD (Dr Alexandre F. C. S.), 159, Cambden Road (Londres).

CASPARI, Ingénieur hydrographe de la Marine, 13, rue de l'Université.

BLONDLOT, Attaché au Laboratoire des Hautes Études, à la Sorbonne.

GUEBBARD, Préparateur de Physique à la Faculté de Médecine de Paris, 45 *bis*, rue Peronnet (Neuilly-sur-Seine).

RAFFARD, Ingénieur, 16, rue Vivienne.

LIPPMANN, Maître de conférences à la Sorbonne, 45, rue des Feuillantines.

SAINTE-CLAIRE DEVILLE (HENRI), Membre de l'Institut, 155, boulevard Saint-Germain.

BORDET (LUCIEN), ancien élève de l'École Polytechnique, 121, boulevard Haussmann.

ABBADIE (D'), Membre de l'Institut, 120, rue du Bac.

GAUTHIER-VILLARS, Libraire-Éditeur, ancien élève de l'École Polytechnique, 55, quai des Grands-Augustins.

LISTE DES MEMBRES DE LA SOCIÉTÉ.

MM.

ABBADIE (d'), Membre de l'Institut, 120, rue du Bac.

ABRIA, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

ALBAN FOURNIER (le Dr), à Rambervillers (Vosges).

ALEXIS (Ferdinand-Marius), Commis principal au Bureau télégraphique central (Marseille).

ALLUARD, Professeur à la Faculté des Sciences de Clermont-Ferrand.

ALMEIDA (d'), Inspecteur général de l'Instruction publique, 31, rue Bonaparte.

ALVERGNIAT, Constructeur d'instruments de Physique, 10, rue de la Sorbonne.

ANDRÉ (Ch.), Professeur à la Faculté des Sciences de Lyon.

ANDREWS, Fortwilliam Park, Belfast (Irlande).

ANGOT, Météorologiste titulaire au Bureau central météorologique, 82, rue de Grenelle Saint-Germain.

ARCHAMBAULT (J.), Professeur au Lycée Charlemagne, 9, boulevard du Temple.

ARLINCOURT (d'), Ingénieur électricien, 157, avenue d'Eylau.

ARNAUD, Notaire à Barcelonnette (Basses-Alpes).

ARNOYE, Professeur au Lycée de Montauban.

AUBRY, Professeur au Collège d'Avallon.

AUBRY, Inspecteur des lignes télégraphiques, à Nancy.

MM.

AUGUEZ (**Émile**), Inspecteur des contributions indirectes, 60, faubourg Saint-Vincent, à Orléans.

AYLMER (**John**), Ingénieur, 4, rue de Naples.

AYMONNET, Répétiteur à l'École d'agriculture de Grignon.

BAILLE, Répétiteur à l'École Polytechnique, 2, rue de Fleurus.

BAILLY, Professeur au Lycée de Pau.

BARBIER, Ingénieur-chimiste, 9, rue Neuve-Fontaine Saint-Georges.

BARDY, Directeur du laboratoire central de l'Administration des Contributions indirectes, 26, rue Malesherbes.

BARON, Inspecteur général des lignes télégraphiques, 64, rue Madame.

BARRAU DE MURATEL (**Maurice de**), Membre du Conseil général du Tarn, 51, rue de Varenne.

BARTHÉLEMY, Professeur au Lycée de Toulouse.

BAUDOT, Employé des lignes télégraphiques, 73, rue du Cherche-Midi.

BEAU (**Henri**), ancien Élève de l'École Polytechnique, 34, rue du Faubourg-Poissonnière.

BÉCLARD, Professeur à la Faculté de Médecine, 65, boulevard Saint-Michel.

BECQUEREL (**Ed.**), Membre de l'Institut, au Muséum, 57, rue Cuvier.

BECQUEREL (**Henri**), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 57, rue Cuvier.

BEDOS, Professeur au Lycée de Montpellier.

BELLOC, Ingénieur, fabricant de ciment, à l'Isle-sur-le-Serein (Yonne)

BELLOT (**Jules**), Manufacturier à Loches (Indre-et-Loire).

BENEVIDES (**Francisco da Fonseca**), Professeur à l'Institut industriel de Lisbonne (Portugal).

BENOIT (**René**), Docteur ès sciences, premier adjoint au Bureau international des Poids et Mesures, au pavillon de Breteuil, Sèvres.

BERGERON, Ingénieur, 75, rue Saint-Lazare.

BERGON, Administrateur des lignes télégraphiques, 56, rue Madame.

BERTHELOT, Membre de l'Institut, 3, rue Mazarine.

BERTHEREAU (**Édouard**), Préfet de l'Hérault.

BERTHOLOMEY, Professeur au Collège de Tulle.

BERTIN, Sous-Directeur de l'École Normale, rue d'Ulm, 45.

BERTRAND, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences, 6, rue de Seine.

BÉTHUNE, Préparateur de Physique au Lycée Saint-Louis.

BEZODIS, Professeur au Lycée Henri IV, 77, boulevard Saint-Michel.

BICHAT, Professeur à la Faculté des Sciences de Nancy.

BILLET, Doyen de la Faculté des Sciences de Dijon.

BISCHOFFSHEIM (**Raphaël-Louis**), 34, rue Neuve-des-Mathurins.

BLAVIER, Inspecteur divisionnaire des Télégraphes, 62, rue Nicolo.

BLIN (**Gaston**), Sous-lieutenant d'Infanterie, au 95e de ligne, à Bourges.

BLONAY (**Roger de**), 23, rue Larochefoucauld.

BLONDLOT, attaché au Laboratoire des Hautes Études, à la Sorbonne.

BOBILEFF, Docent de Mécanique à l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

BONAVITA, Professeur au Lycée de Bastia.

MM.

BONIOL, Professeur de Mathématiques, 123, rue de la Pompe (Passy).

BONTEMPS, Directeur des transmissions, à l'Administration générale des lignes télégraphiques.

BORDET (**Lucien**), ancien Élève de l'École Polytechnique, 121, b. Haussmann.

BORGMAN, Attaché au Laboratoire du Cabinet de Physique de l'Université de St-Pétersbourg (Russie).

BOUCHER, Préfet des Études au Collège Chaptal.

BOUDRÉAUX, Conservateur des collections de Physique à l'École Polytechnique, 2, rue Descartes.

BOULARD, Ingénieur, 13, rue Vavin.

BOULANT, Professeur au Lycée d'Alençon, 1, rue Cazault.

BOURBOUZE, Préparateur à la Faculté des Sciences, 42, rue Lhomond.

BOURDON, Ingénieur-Mécanicien, 74, rue du Faubourg-du-Temple.

BOURSEUL, Directeur des Postes et Télégraphes, à Cahors.

BOURGET, Recteur de l'Académie d'Aix.

BOUSQUET, Maître adjoint à l'École Normale de la Sauve (Gironde).

BOUTAN, Inspecteur général de l'Instruction publique, 4, rue de l'Odéon.

BOUTET DE MONVEL, Professeur au Lycée Charlemagne, 54, rue de Rivoli.

BOUTY, Professeur au Lycée Saint-Louis, 133, boulevard Saint-Michel.

BRANLY, Professeur à l'Université catholique, 49, rue Gay-Lussac.

BREGUET, Membre de l'Institut, 39, quai de l'Horloge.

BREGUET (**Ant.**), Ancien Élève de l'École Polytechnique, 5, rue de Savoie.

BREWER fils, Constructeur d'instruments pour les sciences, 43, rue Saint-André-des-Arts.

BRILLOUIN, Préparateur-agrégé au Collège de France, 48, rue Pergolèse.

BRION, Professeur au Lycée Saint-Louis, 6, cité d'Antin.

BRIOT, Professeur à la Faculté des Sciences, 1, rue Sainte-Catherine-d'Enfer.

BRISAC, Ingénieur de l'éclairage à la Compagnie Parisienne, rue du Temple, à Enghien.

BRISSE, Répétiteur à l'École Polytechnique, 22, rue Denfert-Rochereau.

BROCH (**O.-J.**), Professeur à l'Université de Christiania (Norwège).

BROWNE (**H.-V.**), Représentant de la compagnie Diret Spanish Telegraph à Barcelone (Espagne).

BRUNHES, Professeur au Lycée de Toulouse, 56, quai de Tounis.

BRÜNNER, Constructeur d'instruments de précision, 159, rue de Vaugirard.

BUISSON, Ingénieur, rue Saint-Thomas, à Évreux.

CABANELLAS (**G.**), Lieutenant de Vaisseau, 11, rue Bernoulli.

CABART, Examinateur à l'École Polytechnique, 143, boulevard Saint-Michel.

CADIAT, Ingénieur de la Société du Val d'Osne, 24, rue Meslay.

CAEL, Inspecteur des Télégraphes, 218, boulevard Saint-Germain.

CAILLETET, Correspondant de l'Institut, à Châtillon-sur-Seine.

CALEMARD DU GENESTOUX, Lieutenant-Colonel d'Artillerie, 38, rue du Luxembourg.

CARPENTIER, ancien Élève de l'École Polytechnique, 128, rue Bonaparte.

MM.

CASALONGA, 15, rue des Halles.

CASPARI, Ingénieur hydrographe de la Marine, 13, rue de l'Université.

CAVAILLÉ-COLL, Facteur d'orgues, 15, avenue du Maine.

CHABRERIE, Professeur au Collège de Brives.

CHARLES, Directeur des ateliers de l'Administration des Lignes télégraphiques, 24, rue Bertrand.

CHARLIER, Professeur au Collège de Dunkerque.

CHARLON, Directeur de la *Confiance*, 2, rue Favart.

CHAUSSEGROS, Ingénieur, chef de traction au chemin de fer, à Orléans.

CHAUTARD, Professeur à l'Institut catholique de Lille.

CHAVES (**Antonio Ribeiro**), 116, rua do Ouvidor (Rio de Janeiro).

CIVIALE (**A.**), 2, rue de la Tour-des-Dames.

CLAVERIE, Professeur au Lycée d'Angoulème.

CLERAC, Sous-Insp^r^ des Lignes télégraphiques, 103, rue de Grenelle-St-Germain.

COLMET D'HUART, Directeur de l'Athénée à Luxembourg (Grand-Duché de Luxembourg).

COMBETTE, Professeur au Lycée Saint-Louis, 63, rue des Feuillantines.

CORNU, Membre de l'Institut, 38, rue des Écoles.

COUHIN (**Claude**), Avocat à la Cour d'Appel, 89, rue de Rennes.

COULIER, Pharmacien inspecteur des armées, 26, rue Gay-Lussac.

COUPIER, Fabricant de produits chimiques, à Creil.

COUSTÉ, ancien Directeur de la Manufacture des Tabacs, 72, boulevard Saint-Michel.

COUVREUX, Juge au Tribunal de Châtillon-sur-Seine.

CROIX, Professeur au Collège, 36 *bis*, rue de Valenciennes, à Saint-Amand-les-Eaux (Nord).

CROS (**Ch.**), 21, rue de l'Odéon.

CROVA, Professeur à la Faculté des Sciences de Montpellier.

DAGUENET, Professeur au Lycée de Grenoble, 14, rue Vicat.

DAGUIN, Professeur à la Faculté des Sciences de Toulouse.

DALMAU, Ingénieur, 9, Rembla del Centro, à Barcelone (Espagne).

DAMIEN, Professeur au Lycée, à Lille, 2, rue de la Louvière.

DANIEL, Professeur à l'École Centrale, 67, rue du Cardinal-Lemoine

DEBRAY, Membre de l'Institut, 76, rue d'Assas.

DECLERC, Professeur au Collège de Langres (Haute-Marne).

DEDET, Professeur au Lycée d'Albi.

DELESTRÉE, Inspecteur d'Académie, à Nice.

DELEUIL, Constructeur d'instruments de Physique, 42, rue des Fourneaux.

DELEVEAU, Professeur au Lycée d'Orléans, 4, rue Jeanne d'Arc.

DELHAYE, Professeur au Lycée de Saint-Omer.

DENAYROUZE (**L.**), ancien élève de l'École Polytechnique, 9, rue Chauchat.

DEPREZ (**Marcel**), Ingénieur, 15, rue Champollion.

DESCHIENS, Constructeur d'instruments de Physique, 123, boul. Saint-Michel.

MM.

DESLANDES, ancien Officier de marine, 20, rue Larochefoucauld.
DESPLATS, Agrégé de l'École de Médecine, 7, boulevard des Capucines.
DESPRATS, Professeur au Collège de Millau (Aveyron).
DIENHEIM BROCHOCKI (**Comte Th. de**), Ingénieur civil, 6, rue Richepanse.
DOUCEUR, Directeur des postes et télégraphes du département des Deux-Sèvres, à Niort.
DOULIOT, Principal du Collège de Langres.
DUBOSCQ, Constructeur d'instruments de Physique, 21, rue de l'Odéon.
DUCHEMIN, Ingénieur, 25, rue Clapeyron.
DUCLAUX, Professeur à l'Institut agronomique, 15, rue Malebranche.
DUCLOS, Directeur de l'École Normale de Barcelonnette (Basses-Alpes).
DUCOMET, Ingénieur, 20, rue des Petits-Hôtels.
DUCRETET, Constructeur d'instruments de Physique, 75, rue des Feuillantines.
DUFET, Professeur au Lycée Saint-Louis, 13, carrefour de l'Observatoire.
DUMOULIN-FROMENT, Constructeur d'instruments de précision, 85, rue Notre-Dame-des-Champs.
DUPRÉ, Professeur au Lycée Charlemagne, 60, rue des Tournelles.
DUTER, Professeur au Lycée Louis-le-Grand.

EHRHART (**Théophile**), Pharmacien, 5, rue Battant, à Besançon.
EICHTHAL (**baron d'**), 98, rue Neuve-des-Mathurins.
EDELBERG, Ingénieur opticien, à Kharkoff (Russie).
EGOROFF (**Nicolas**), au Cab^t de Phys. de l'Université, St-Pétersbourg (Russie).
ÉLIE, Professeur au Collège d'Abbeville, 37, rue des Teinturiers.
ESTRADA (**Francisco**), Recteur de l'Institut de San-Luis de Potosi (Mexique).

FARGUES DE TASCHEREAU, Professeur au Lycée Henri IV, 13, rue Boissière.
FAURE, Ingénieur, The Cotton Powder C° Limited, var Works, à Faversham (Angleterre).
FAVÉ, Ingénieur hydrographe, 104, rue du Bac.
FAYE, Membre de l'Institut, 6, rue de la Pompe, Passy-Paris.
FERNET, Inspecteur général de l'Instruction publique, 79, rue des Feuillantines.
FIZEAU, Membre de l'Institut, 3, rue de la Vieille-Estrapade.
FONTAINE (**Hippolyte**), 15, rue Drouot.
FONTBONNE (**l'abbé**), au château de Gourdan, par Annonay (Ardèche).
FOURNIER (**Félix**), 115, rue de l'Université.
FRIDBLATT (**A.**), Contrôleur du Télégraphe, à Chaumont (Haute-Marne).
FRIEDEL, Membre de l'Institut, 60, boulevard Saint-Michel.
FRON, Météorologiste titulaire au Bureau central météorologique, 60, rue Grenelle Saint-Germain.

GAIFFE, Constructeur d'instruments de Physique, 40, rue Saint-André-des-Arts.
GARBAN, Professeur au Lycée de Clermont-Ferrand.
GARBE, Préparateur de Physique à l'École Normale supérieure.

MM.

GARÉ (**l'Abbé**), Professeur à l'École ecclésiastique des Hautes Études de Nancy.

GARNUCHOT, Professeur au Collège, rue Saint-Barthelémy, à Melun.

GARIEL, Agrégé de l'École de Médecine, 39, rue Jouffroy.

GARZA (**Pedro**), Vice-Recteur de l'Institut de San-Luis de Potosi (Mexique).

GAUGAIN, 1, rue d'Assas.

GAUMET, Lieutenant d'Infanterie, 52, rue Clerc.

GAUTHIER-VILLARS, Libraire-Éditeur, ancien Élève de l'École Polytechnique, 55, quai des Grands-Augustins.

GAVARRET, Professeur à l'École de Médecine, 73, rue de Grenelle-St-Germain.

GAY, Professeur au Lycée d'Amiens, 27, rue de la Pâture.

GAYON, Maître de conférences à la Faculté des Sciences, Chimiste en chef de la Douane des sucres, 28, place Pey Berland, à Bordeaux.

GERMAIN (**Pierre**), employé des Télégraphes, à Royat-les-Bains.

GERNEZ, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 17, rue Médicis.

GIRARD (**Ch.**), Professeur au Collège Rollin, 9, rue Thenard.

GIRARDET, Professeur au Lycée Saint-Louis, 90, rue des Feuillantines.

GIROUD (**D.**), Constructeur de régulateurs à gaz, 27, rue des Petits-Hôtels.

GOLAZ, Constr. d'instruments de Physique, 24, rue des Fossés-Saint-Jacques.

GOSSART (**Ferdinand**), à Mareuil-sur-Ay (Marne).

GOSSIN, Proviseur au Lycée de Marseille.

GOTENDORF (**Silvanus**), à Bruxelles (Belgique).

GOUY, Doccteur ès sciences, 5, rue Casimir-Delavigne.

GOULIER, Colonel du Génie, 49, rue Vanneau.

GOVI, Professeur à l'Université de Naples (Italie).

GOWER (**Frédéric**), Ingénieur, 66, rue Neuve-des-Petits-Champs.

GRAMMACINI (**G.-H.-F**), Receveur du Bureau télégraphique central à Marseille.

GRAY (**Matthew**), Directeur de l'usine de l'Indian-Rubber gutta-percha et telegraph Works C°, 106, Cannon street, Londres.

GRAY (**Robert Kay**), Ingénieur électricien à l'usine de l'Indian-Rubber, gutta-percha et telegraph Works C°, 106, Cannon street, Londres.

GRIPON, Professeur à la Faculté des Sciences de Rennes, 4, rue Bourbon.

GRIVEAUX, Professeur au Prytanée de la Flèche.

GROGNOT (**L.**), Chimiste, 23, rue des Vinaigriers.

GROSSETESTE (**William**), Ingénieur civil, quai de la Sinne, Mulhouse.

GUEBHARD, Préparateur de Physique à la Faculté de Médecine de Paris, 45 *bis*, rue Perronet, à Neuilly-sur-Seine.

GUELPA, Principal du Collège de Blidah (Algérie).

GUERBY, Professeur au Collège, à Grasse (Alpes-Maritimes).

GUEROUT, Sous-Directeur de la maison Ruhmkorff, 15, rue Champollion.

GUILLEBON (**de**), Contrôleur de l'exploitation au chemin de fer d'Orléans, 5, rue du Bourg-Neuf, Orléans.

HAFFEN, Capitaine du Génie, 8, rue Saint-Dominique Saint-Germain.

HANRIOT, Professeur de Physique honoraire à la Faculté de Lille, à Mainbottel, par Xivry-le-Franc (Meurthe-et-Moselle).

MM.

HAUCK (**W.-J.**), Constructeur d'instruments de Physique, 20, Kellenbrücke Gasse, à Vienne (Autriche).
HESEHUS (**N.**), Attaché à l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).
HOSTEIN, Professeur au Lycée de Nancy.
HUET, Inspecteur des lignes télégraphiques à Constantine (Algérie).
HUGO (**le Comte Léopold**), 94, rue de la Victoire.
HUGON, Ingénieur, 165, rue de Vaugirard.
HUGUENY, Prof. à la Faculté des Sciences de Marseille, 4, traverse du Chapitre.
HUREAU DE VILLENEUVE (**le Dr**), 95, rue Lafayette.
HURION, Professeur à l'École normale spéciale de Cluny (Saône-et-Loire).

INFREVILLE (**G. d'**), Ingénieur à New-York (États-Unis).
ISAMBERT, Professeur à la Faculté des Sciences de Poitiers.
ITSCHNER, Principal du Collège de Béziers.

JABLOCHKOFF, Ingénieur, 52, rue de Naples.
JAMIN, Membre de l'Institut, 24, rue Soufflot.
JANDEAU, Professeur au Collège de Tourcoing.
JANNIN, Professeur de Physique en retraite, 9, rue Mariès, à Albi.
JANSSEN, Membre de l'Institut, Directeur de l'Observatoire d'Astronomie physique, à Meudon.
JAVAL, Directeur du Laboratoire d'Ophtalmologie de la Sorbonne, 58, rue de Grenelle-Saint-Germain.
JENNESSON, ancien principal à Xivry-le-Franc (Meurthe-et-Moselle).
JÉNOT, Professeur au Lycée de Nancy.
JOLY, Ferme de Pargny, près Château-Porcien (Ardennes).
JOLY, Inspecteur des Lignes télégraphiques, à Besançon.
JOSSE, ancien Élève de l'École Polytechnique, 15, rue Drouot.
JOUBERT, Professeur au Collège Rollin, 67, rue Violet.
JOULE (**J.-P.**), Cliff Point, Higher Broughton, Manchester.
JUNGFLEISCH, Professeur à l'École supérieure de Pharmacie, 38, rue des Écoles.

KŒNIG, Constructeur d'instruments d'Acoustique, 26, rue de Pontoise.
KRETZ, Ingénieur des Manufactures de l'État, 66, rue de Rennes.
KUHN, Professeur de Physique au Lycée Temesvar (Hongrie).
KOTCHOUBEY, Président de la Société Impériale Polytechnique à Saint-Pétersbourg (Russie).
KOWALSKI, Professeur à l'École supérieure du Commerce et de l'Industrie à Bordeaux.
KROUCHKOLL, Licencié ès Sciences, 6, rue Cassini.

LACHEZ, Architecte, 113, rue Lafayette.
LACOINE (**Émile**), Ingénieur civil, à Constantinople (Turquie).
LAFOREST (**de**), Lieutenant-Colonel du 33e de ligne, à Arras.
LALANCE (**l'Abbé**), Curé de Xivry-le-Franc (Meurthe-et-Moselle).

MM.

LALANDE, Libraire, à Brives.

LALEU, Conducteur des Ponts et Chaussées, 39 *bis*, rue St-Ambroise, à Melun.

LALLEMAND, Doyen de la Faculté des Sciences de Poitiers.

LAMANSKY, Professeur à l'Université de Varsovie (Russie).

LAMON, Constructeur d'instruments de Physique, 4, rue Rothschild, à Genève (Suisse).

LAMY, Directeur de la Manufacture de caoutchouc, à Chamalières (Puy-de-Dôme).

LAPLAICHE (Alexandre), Commissaire de surveillance administrative des Chemins de fer, à Besançon.

LAROCHE, Ingénieur des Ponts et Chaussées, 118, avenue des Champs-Élysées.

LATTES (Oreste), Ingénieur à Turin (Italie).

LAURENT, Constructeur d'instruments de Physique, 21, rue de l'Odéon.

LAVIÉVILLE, Directeur de l'École normale spéciale de Cluny (Saône-et-Loire).

LAWTON (George Fleetwood), electricien de l'Eastern Telegraph, 2, boulevard du Muy, à Marseille.

LE BLANC (Félix), Professeur à l'École Centrale, 9, rue de la Vieille-Estrapade.

LEBOSSÉ (l'Abbé), Directeur de l'Institution Saint-Martin, à Rennes.

LECARME, Professeur au Collège Chaptal, 37, rue de Saint-Pétersbourg.

LECHAT, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 7, rue de Tournon.

LECHATELLIER, Ingénieur des Mines, professeur de Chimie générale à l'École des Mines, 23, rue du Cherche-Midi.

LECOQ DE BOISBAUDRAN (François), Correspondant de l'Institut, à Cognac.

LE GAVRIAN (Paul), Ingénieur, 133, boulevard de la Liberté, à Lille.

LEFEBVRE, Lieutenant au 95e d'infanterie, à Bourges.

LEFEBVRE, Professeur au Lycée de Versailles, 18, rue Montbauron.

LEMOINE (E.), ancien élève de l'École Polytechnique, 55, rue du Cherche-Midi.

LEMOINE (G.), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 76, rue d'Assas.

LEMONNIER, Ancien élève de l'École Polytechnique, 26, avenue de Suffren.

LERMANTOFF, Attaché au Laboratoire du Cabinet de Physique de l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

LE ROUX, Répétiteur à l'École Polytechnique, 120, boulevard Montparnasse.

LESCHI, Professeur au Collège de Corte (Corse).

LESPIAULT, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

LEVY, Chef d'Institution, 10, rue Amyot.

LEVY (Armand), Professeur au Lycée de Troyes.

LIBERT (C.-D), Professeur au Collège de Cholet.

LIPPMANN, Maître de conférences de Physique à la Sorbonne, 45, rue des Feuillantines.

LISBONNE (Fernand), Inspecteur de la Compagnie générale transatlantique, 73, boulevard Magenta.

LISLEFERME (de), Ingénieur en retraite, à Taillebourg.

LISSAJOUS, Recteur honoraire de l'Académie de Besançon.

LOIR, Inspecteur des Lignes télégraphiques, à Lyon.

LUTZ, Constructeur d'instruments d'optique, 65, boulevard Saint-Germain.

MM.

LVOFF (Th.), Secrétaire de la Société Impériale Polytechnique, à Saint-Petersbourg (Russie).

MACÉ DE LÉPINAY, Professeur au Lycée, 7, rue Saint-Féréol, à Marseille.
MAGNE, Inspecteur des lignes télégraphiques, à Amiens.
MALLARD, Ingénieur en chef des Mines, professeur de Minéralogie à l'École des Mines, 19, rue de Médicis.
MALLEZET, Architecte, 29, rue de Fontenay, à Vincennes.
MANEUVRIER, Agrégé, attaché à l'École des Hautes Études, 20, rue des Écoles.
MANGIN, Lieutenant-colonel du Génie, 18, boulevard des Invalides.
MARÉCHAL, Professeur au Lycée Fontanes, 52, rue Lemercier.
MAREY, Membre de l'Institut, 13, rue Duguay-Trouin.
MARIÉ-DAVY, Directeur de l'Observatoire météorologique de Montsouris.
MARTIN (Ch.), rue de Bonneval, à Chartres.
MASCART, Professeur au Collège de France, 60, rue de Grenelle St-Germain.
MASSIEU, Professeur à la Faculté des Sciences de Rennes.
MASSE, Professeur au Collège d'Épernay.
MASSON (G.), Libraire-Éditeur, 120, boulevard Saint-Germain.
MAUMENÉ, Professeur à la Faculté catholique de Lyon.
MAURAT, Professeur au Lycée Saint-Louis, 6, rue Vavin.
MEAUX (de), Chef de Bureau au Ministère des Postes et Télégraphes, 44, rue Saint-Placide.
MELSENS, Membre de l'Académie des Sciences de Belgique, 29, rue de la Grosse-Tour, à Bruxelles.
MÉNIER (Henri), 5, avenue Van-Dyck.
MERCADIER, S^e^-Inspecteur des télégraphes, 103, rue de Grenelle St-Germain.
MEUNIER-DOLLFUS, Administrateur délégué de la fabrique de produits chimiques, à Thann (Haut-Rhin).
MEURIEN, Pharmacien, à Lille.
MEYER, Ingénieur des télégraphes, 1, boulevard Saint-Denis.
MINARY, Ingénieur, 37, rue Battant, à Besançon.
MOITESSIER (Albert), Professeur à l'École de Médecine de Montpellier.
MONCEL (Comte du), Membre de l'Institut, 7, rue de Hambourg et à Lebisey (près Caen).
MONNOYER, Professeur à la Faculté de Médecine de Nancy.
MONTEFIORE, 118, rue de Grenelle St-Germain.
MONTEIL (Silvain), Professeur au Collège de Vannes.
MOREAU, Chef des Travaux physiologiques au Muséum, 55, rue de Vaugirard.
MOREL, Maître de conférences à la Faculté de Médecine, à Lille.
MORIN, Inspecteur des lignes télégraphiques, à Poitiers.
MORRIS, Inspecteur des Lignes télégraphiques, 83, rue de Rennes.
MORS, Ingénieur, fabricant d'appareils électriques, 4 *bis*, rue Saint-Martin.
MOUCHOT, Professeur au Lycée, à Tours.
MOUTIER, Professeur à Sainte-Barbe, 29, boulevard Saint-Michel.

MM.

MOUTON, Maître de conférences de Physique à la Sorbonne, 47, rue des Feuillantines.

MUIRHEAD (Dr **Alexandre**, F. C. S.), 159, Cambden Road, Londres.

MUIRHEAD (**John**), Fabricant d'appareils électriques, à Londres, 29, Regent-Street, Westminster, Londres.

NAPOLI (**David**), Chimiste au chemin de fer de l'Est, 98, rue du Faubourg-Poissonnière.

NEYRENEUF, Professeur à la Faculté des Sciences de Grenoble.

NIAUDET, Constructeur d'instruments de précision 6, rue de Seine.

OGIER (**Jules**), 45, rue de Chabrol.

OLIVIER (**Louis**), Licencié ès Sciences naturelles, 90, rue de Rennes.

OLLIVIER (**A.**), Ingénieur civil, 51, boulevard Beaumarchais.

ONDE, Professeur au Lycée du Havre.

ORDUNA, Ingénieur, à Madrid (Espagne).

ORLÉANS (**Cte d'**), Colonel d'État-Major en retraite, 73, boulevard Haussmann.

PAILLARD-DUCLÉRÉ (**Constant**), Secrétaire d'Ambassade, sous-chef du cabinet du Ministre des affaires étrangères, 32, boulevard Haussmann.

PARAYRE (**l'abbé**), Licencié ès Sciences physiques, 74, rue de Vaugirard.

PASSOT (Dr), Aide-Major au 122e de ligne, à Montpellier.

PAUL (**Amédée**), Directeur de l'Eastern Telegraph, à Bône (Algérie).

PAYN (**John**), Sous-Directeur de l'Eastern Telegraph, 2, boulevard du Muy, à Marseille.

PELLAT (**H.**), Professeur au Collège Rollin, 21, rue Monge.

PELLERIN, Professeur de Physique à l'École de Médecine de Nantes.

PEREZ DE NUEROS (**Federico**), Professeur à la Faculté des Sciences de Barcelone (Espagne).

PÉRIGNON, 105, rue du Faubourg-Saint-Honoré.

PERNET, Professeur de Physique en retraite, 3, rue Bernard, à Dôle.

PERNET (Dr **J.**), attaché au Bureau international des Poids et Mesures, Pavillon de Breteuil, Sèvres.

PÉROT, Dessinateur et Graveur, 10, rue de Nesles.

PERROUD, Préparateur au Lycée Fontanes, rue du Havre.

PICOU, Ingénieur des arts et manufactures, 31, boulevard Magenta.

PITANGA (**Epiphanio**), Professeur à l'École Polytechnique de Rio-Janeiro.

PLANTÉ (**Gaston**), 56, rue des Tournelles.

PLATZER (**H.**), Professeur de Mathématiques, 11, rue Miromesnil.

PLOIX (**Charles**), Ingénieur hydrographe de la Marine, 13, rue de l'Université.

POIRÉ, Professeur au Lycée Fontanes, 60, boulevard Malesherbes.

POLLARD, Ingénieur de la Marine, hôtel de l'Aigle, à Cherbourg.

POTIER, Ingénieur des mines, répétiteur à l'École Polytechnique, 1, rue de Boulogne.

POUSSIN (**Alexandre**), Ingénieur manufacturier à Elbeuf.

POUSSIN (**Louis**), avocat à Saint-Aubin-lès-Elbeuf.

MM.

PRAZMOWSKI, Constructeur d'instruments d'Optique, 1, rue Bonaparte.
PRÉSIDENT (**le**) de la Société de Physique de Londres.
PRÉSIDENT (**le**) de la Société de Physique de Saint-Pétersbourg.
PUCHEU, Professeur au Collège de Béziers.
PUJALET, Préparateur au Collège Rollin, 12, avenue Trudaine.
PUYFONTAINE (**Comte de**), 43, boulevard des Batignolles.

QUET, Inspecteur général de l'Instruction publique, 59, rue Madame.

RAFFARD, Ingénieur, 16, rue Vivienne.
RAULX, Receveur des postes et télégraphes, à Aurillac.
RAYET, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.
RAYNAUD, Sous-Inspecteur des Lignes télégraphiques, 60, boulevard Saint-Germain.
REDIER, Constructeur, 8, cour des Petites-Écuries.
REGNARD, Sous-Directeur du Laboratoire de Physiologie à la Sorbonne.
RENARD, Capitaine du Génie, 7, avenue de Trivaux, à Meudon.
REY (**Casimir**), Professeur de Mathématiques à l'École du Génie, 22, rue de Montbauron, à Versailles.
REYNIER, Ingénieur électricien, 10, rue des Vosges.
RIBAIL (**Xavier**), Ingénieur de la traction au Chemin de fer de l'Ouest, 37, rue du Château.
RIBAN (**Joseph**), Directeur adjoint du Laboratoire d'enseignement chimique et des hautes études, 28, rue Saint-Sulpice.
RICHARD, Inspecteur divisionnaire des lignes télégraphiques, à Paris.
RICHET (**Th.**), Professeur agrégé à la Faculté de Médecine, 5, rue Bonaparte.
RITTER, Professeur de Chimie à la Faculté de Médecine de Nancy.
RODDE (**Ferd.**), 3, cité Magenta.
RODOCANACHI (**Emmanuel**), 42, avenue Gabriel.
ROGER (**Albert**), rue Croix-de-Bussy, à Épernay.
ROGNETTA (**F.-B.**), Ingénieur, 62, via Borgonuovo, à Turin (Italie).
ROIG Y TORRES (**Raphaël**), Professeur à la Faculté des Sciences de Barcelone (Espagne).
ROISIN (**Paul**), ancien Élève de l'École Polytechnique, 42, rue des Fourneaux.
ROLLAND (**E.**), Directeur général des Manufactures de l'État, 66, rue de Rennes.
ROMANET, ancien Élève de l'École des Mines, à Bovelles, par Picquigny (Somme).
ROMILLY (**de**), 8, rue de Madrid.
ROOSEVELT, Ingénieur, 1, rue de la Bourse.
ROSENSTIEHL, Chimiste, Directeur de l'usine Poirrier, 114, route Saint-Leu, à Enghien.
ROSSETTI, Professeur à l'Université de Padoue (Italie).
ROUSSE, Professeur au Lycée de Saint-Étienne, 23, rue Saint-Étienne.

SAINTE-CLAIRE DEVILLE (**Henri**), Membre de l'Institut, 155, boulevard Saint-Germain.

MM.

SAINTE-CLAIRE DEVILLE (Henri), Ingénieur des Manufactures de l'État, 3, place Péreire.

SAINTE-CLAIRE DEVILLE (Émile), Ingénieur à la Compagnie du gaz, 85, avenue de Villiers.

SAINT-LOUP, Professeur à la Faculté des Sciences de Besançon.

SALET, Maître de conférences de Chimie à la Sorbonne, 120, boulevard Saint-Germain.

SARCIA (Gril), Capitaine d'Artillerie de Marine, 61, avenue de Villiers.

SAUTTER (Gaston), Ingénieur, 26, avenue de Suffren.

SCHAEFFER, Chimiste, à Dornach, près Mulhouse.

SCHWEDOFF, Professeur à l'Université d'Odessa (Russie).

SCHNEIDER (Théodore), Professeur de Chimie à l'École Monge, 36, rue du Faubourg-Saint-Germain.

SCOLA, 67, rue de Provence.

SEBERT, Commandant d'Artillerie de Marine, 17, boulevard de Courcelles.

SÉGUIN, ancien Recteur de l'Académie des Sciences de Caen.

SEIGNETTE (Adrien), Licencié ès Sciences, 87, rue du Bac.

SERRÉ-GUINO, Professeur au Lycée de Bordeaux.

SERRIN (V.), Ingénieur, 1, boulevard Saint-Martin.

SICCARDI (le Comte Émile), Ingénieur, 7, via Cavour, à Turin (Italie).

SIMOUTRE (l'Abbé), Professeur de Physique au grand séminaire de Nancy.

SIRE (G.), Docteur ès Sciences, Essayeur de la Garantie, à Besançon-Mouillière.

SIRVENT, Professeur au Collège Rollin, 116, rue de Rennes.

SIVRY (L. de), Rédacteur au Ministère des Affaires étrangères, 32, rue de Verneuil.

SOURDEVAL (de), 22, rue Bergère.

SPOTTISWOODE (W.), Président de la Société Royale de Londres, 50, Grosvenor-Place (S. W.), Londres.

STAPFER (Daniel), Ingénieur à Marseille.

STEPANOFF, Préparateur de Physique, à Cronstadt (Russie).

STOKES (G.-G.), Professeur de Mathématiques à l'Université de Cambridge. — Lensfield Cottage, Cambridge.

STRUMBO, Professeur à l'Université d'Athènes (Grèce).

TEISSIER, Professeur au Lycée de Nice.

TEPLOFF, Colonel du Génie impérial russe, rue Vladimir Kaies, 15, maison Friedrichs, Saint-Pétersbourg (Russie).

TERNANT, Repr^t de la Cie de l'Eastern Telegraph, 62, boul. de Longchamps, à Marseille.

TERQUEM, Professeur à la Faculté des Sciences de Lille.

THENARD (le baron **Paul**), Membre de l'Institut, 6, place Saint-Sulpice.

THENARD (Arnould), 6, place Saint-Sulpice.

THOLLON, 3, rue Soufflot.

THOMSON (Silvanus-P.), Professeur au Collège de l'Université de Bristol (Angleterre).

MM.

THOMSON (**Sir William**), F. R. S., Professeur à l'Université de Glascow (Écosse).

THYRION, Professeur au Collège de Fontainebleau.

TILMANT (**Victor**), Directeur de l'École supérieure à Lille.

TIMIRIAZEFF, Professeur de Physiologie végétale, à Moscou (Russie).

TEISSERENC DE BORT (**Léon**), Attaché au Bureau central météorologique, 82, avenue Marceau.

TOMMASI (**Ferdinando**), Ingénieur, 50, avenue de Wagram.

TORTEL, Professeur au Lycée de Grenoble.

TRANNIN (**Henri**), ancien Préparateur à la Faculté des Sciences de Lille, à Fampoux (Pas-de-Calais).

TRIPIER (**le Dr**), 4, rue de Hanovre.

TROTIN, Inspecteur des lignes télégraphiques, à Nevers.

TROUVÉ (**G.**), Constructeur d'instruments de précision, 14, rue Vivienne.

TULEU, Ingénieur, 17, rue Visconti.

TURIÈRE, Professeur au Collège de Bédarieux.

VACHER (**Paul**), 45, rue de Sèvres.

VAGNIEZ (**Fiquet-Benoni**), Négociant, rue Lemerchier, à Amiens.

VALBY, Pharmacien de 1re classe, à Dijon.

VAN DER VLIT, Privat-Docent de Physique à l'Université de Saint-Pétersbourg.

VAN MALDEREN (**J.**), Constructeur d'appareils électromagnétiques, 67, avenue de Wagram.

VARACHE, Professeur au Collège de Béziers.

VARIN, Professeur au Collège, à Épinal.

VIGNES, Professeur au Collège Chaptal, 15, rue Véron.

VILLIERS (**Antoine**), 8, rue du Havre.

VIMERCATI (**G.**), Directeur de la *Rivistà scientifico-industriale*, 49, Corso Tintori, Florence (Italie).

VIOLLE, Professeur à la Faculté des Sciences de Lyon.

VIORRAIN, Préparateur de Chimie, 65, rue du Cardinal-Lemoine.

WLADIMIRSKI (**Alexis**), Professeur de Physique à l'École technique de Moscou (Russie).

WAHA (**de**), Professeur à Luxembourg (Grand-Duché de Luxembourg).

WARREN DE LA RUE, 73, Portland place, Londres, W.

WERLEIN, Constructeur d'instruments d'Optique, 11, rue Berthollet.

WEST (**Émile**), Ingénieur-Chimiste au Chemin de fer de l'Ouest, 13, rue Bonaparte.

WIESNEGG, Constructeur d'appareils pour les Sciences, 64, rue Gay-Lussac.

WITZ (**Aimé**), Ingénieur civil, 127, boulevard Vauban, à Lille.

WOLF, Astronome à l'Observatoire de Paris, 81, rue des Feuillantines.

WUNSCHENDORFF, Inspecteur-Ingénieur des lignes télégraphiques, 17, rue Jeanne-d'Arc, à Rouen.

XAMBEU, Professeur au Collège de Saintes.

YVON, Pharmacien, 7, rue de la Feuillade.

ZAHM (**J.-A.**), Professeur de Physique à l'Université Notre-Dame (Indiana) (États-Unis).

ZEGERS (**Louis-L.**), Ingénieur des Mines du Chili, 202, calle Catedral, à Santiago.

ZILOFF, Professeur de Physique à l'École Impériale technique, à Moscou (Russie).

6 février 1880.

Les personnes dont le nom ou l'adresse ne sont pas correctement inscrits sont priées de transmettre les rectifications au Secrétaire général de la Société.

TABLE DES MATIÈRES.

Pages.

SÉANCE DU 3 JANVIER 1879 5
Régulateur de température; par M. *René Benoît* 6
Expériences de M. A.-M. Mayer pour figurer les groupements et les actions moléculaires; par M. *Ch. d'Almeida* 9
Du rôle des écrans magnétiques en mouvement dans les phénomènes d'induction; par M. *G. Lippmann* 12
Moyen d'obtenir des étincelles électriques colorées; par M. *Tepoff* 16

SÉANCE DU 17 JANVIER 1879 18
Indicateur électrique des pressions; par M. *Marcel Deprez* 20
Spectroscope à vision directe et à grande dispersion; par M. *Thollon* .. 27
Nouvelles recherches sur les poissons électriques; caractères de la décharge du Gymnote; effets d'une décharge de Torpille lancée dans un téléphone; par M. *E.-J. Marey* 32

SÉANCE DU 7 FÉVRIER 1879 35
Les couleurs, le chromomètre et la photographie des couleurs; par M. *Ch. Cros* 35
Spectroscope destiné à l'observation des radiations ultra-violettes; par M. *Cornu* 39
Téléphone de M. Gower; par M. *A. Niaudet* 48

SÉANCE DU 21 FÉVRIER 1879 51
Sur un nouveau phénomène d'électricité statique; par M. *E. Duter* 51
Téléphone avertisseur; par M. le capitaine *Perrodon* 53

SÉANCE DU 7 MARS 1879 58
De la non-existence de la dilatation galvanique; par M. *Blondlot* 59
Sur les houppes des cristaux polychroïques; par M. *Bertin* 62
Sur l'appareil redresseur de M. Duboscq; par M. *Bertin* 73
De l'action des différentes lumières colorées sur une couche de bromure d'argent imprégnée de diverses matières colorantes organiques; par M. *Ch. Cros* 78
Nouvelle forme d'électroscope; par M. *A. Guérout* 80

Pages

SÉANCE DU 21 MARS 1879 81
Recherches sur la compressibilité des gaz; par M. *L. Cailletet* 82
Sonde microphonique; par MM. *Chardin* et *Prayer* 89
Crayon voltaïque de MM. Pellet et H. d'Arroz 89

SÉANCE DU 4 AVRIL 1879 91
Machine magnéto-électrique; par M. *Marcel Deprez* 92
Pouvoir rotatoire magnétique des gaz; par M. *Henri Becquerel* 94
Machine parlante de M. Faber; par M. *Gariel* 99

SÉANCE DU 16 AVRIL 1879 (séance de Pâques) 101

SÉANCE DU 2 MAI 1879 102
Lettre de M. Rossetti sur la température de l'arc voltaïque et des deux extrémités du charbon 103
Solutions d'enroulements électromagnétiques; par M. *A. Breguet* 104
Accélérographe de M. Marcel Deprez, appareil destiné à la mesure des pressions développées par les gaz de la poudre; par M. *Sebert* 107

SÉANCE DU 16 MAI 1879 118
Le télémètre de poche à double réflexion; par M. *Gaumet* 120
De quelques phénomènes mécaniques et calorifiques qui accompagnent l'électrolyse; par M. *E. Bouty* 126

SÉANCE DU 9 JUIN 1879 145
Sur une nouvelle illusion d'optique; par M. *Silvanus P. Thompson* 146
Note sur la Communication précédente; par M. *Javal* 149
Recherches sur la différence de phase qui existe entre les vibrations de deux téléphones associés; par M. *R. Kœnig* 149
Système de lampe électrique à incandescence; par M. *Émile Reynier* 153

SÉANCE DU 20 JUIN 1879 155
Avantages des courants continus pour l'éclairage électrique; par M. *Hippolyte Fontaine* 157
Établissement de la formule relative au rayon d'action des paratonnerres; par M. *Lacoine* 162

SÉANCE DU 4 JUILLET 1879 166
Sur la loi de Stokes; par M. *S. Lamansky* 167

SÉANCE DU 18 JUILLET 1879 171
Phonographe à plateau, à mouvement de rotation uniforme; par M. *Saint-Loup* 172
Le campylomètre; par M. *F. Gaumet* 173
Distillation des liquides sous l'influence de l'électricité statique; par M. *D. Gernez* 176

Sur l'inscription des phénomènes météorologiques, en particulier de l'électricité et de la pression; par M. *Mascart*..... 182
Phénomènes dits hydro-électriques et hydromagnétiques; théorèmes fondamentaux et leur constatation expérimentale; par M. *C.-A. Bjerknes*..... 189

SÉANCE DU 7 NOVEMBRE 1879..... 198
Mesure de la longueur d'onde des rayons calorifiques obscurs; par M. *Mouton*..... 199
Pile au chlorure de chaux; par M. *A. Niaudet*..... 206

SÉANCE DU 21 NOVEMBRE 1879..... 208
Recherches photométriques sur les flammes colorées; par M. *Gouy*.... 208
Sur la détermination des éléments d'un mouvement vibratoire; par M. *E. Mercadier*..... 211

SÉANCE DU 5 DÉCEMBRE 1879..... 226
Anneaux colorés à la surface du mercure; par M. *Adrien Guébhard*... 227

SÉANCE DU 19 DÉCEMBRE 1879..... 229
Taches et protubérances solaires observées avec un spectroscope à très grande dispersion; par M. *Thollon*..... 230
Sur la polarisation atmosphérique et l'influence du magnétisme terrestre sur l'atmosphère; par M. *Henri Becquerel*..... 235
Catalogue de la bibliothèque de la Société..... 241
Liste des instruments reçus..... 249
Liste des Membres de la Société..... 251
Table des matières..... 267

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES.

5901 Paris. — Imprimerie de GAUTHIER-VILLARS, quai des Augustins, 55.

This book should be returned to the Library on or before the last date stamped below.

A fine of five cents a day is incurred by retaining it beyond the specified time.

Please return promptly.